

Infrastruktuurista riippumaton sisätilapaikannus taistelijan tilannetietoisuuden muodostamiseksi

Sisätilapaikannuksen nykytila

Satelliittinavigointijärjestelmien, kuten GPS-järjestelmän, avulla on navigoitu ulkotiloissa jo vuosikymmeniä. Yhdellä pienellä laitteella on voitu määritellä sijainti melko tarkasti ja luotettavasti kaikkialla maailmassa. Satelliittinavigointijärjestelmät on kuitenkin suunniteltu käytettäväksi avarissa ulkotiloissa. Satelliittisignaalien avulla laskettavan sijaintitiedon tarkkuus ja saatavuus heikkenee huomattavasti siirryttäessä paikkoihin, joissa signaalien kulku vastaanottimeen on estynyt tai ympäristön rakenteet aiheuttavat signaalien heijastumista. Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi metsissä puiden lehdistön vaikutuksesta tai kaupunkien keskustoissa korkeiden rakennusten estäessä suoran näköyhteyden vastaanottimesta satelliitteihin. Sisätiloissa satelliittipaikannuksen käytettävyys on vielä huonompi. Signaalit vaimentuvat merkittävästi läpäistessään rakenteita, ja tästä syystä ainakaan toistaiseksi satelliittipaikannusta ei voida käyttää sisätilapaikannukseen.

Turvallisuuteen ja puolustukseen liittyvät operaatiot vaativat luotettavaa tilannetietoa, ja yksi sen tärkeimmistä tekijöistä on tarkka sijaintitieto. Operaatiot eivät rajoitu vain avariin ulkotiloihin, vaan tarkkaa ja luotettavaa paikannusta tarvitaan kaikissa ympäristöissä. Sisätilanavigointiin on kulluttajille olemassa jo hyviä, kaupallisestikin saatavilla olevia ratkaisuja. Nämä ratkaisut perustuvat pääasiassa radiosignaalien käyttöön ja vaativat tilassa olevan infrastruktuurin lisäksi paikannusmenetelmän etukäteisvalmistelua navigointia varten. Useissa kauppakeskuksissa ja lentokentillä on jo käytössä langattoman lähiverkon (WLAN) tukiasemista saataviin radiosignaaleihin tai Bluetooth-signaaleja lähettäviin beaconeihin perustuvia paikannusjärjestelmiä. Näiden avulla voidaan määrittää käyttäjän sijainti kyseisellä alueella satelliittipaikannukseen verrattavalla tasolla eli noin kahden metrin tarkkuudella hyvissä olosuhteissa. Suomi on teknologiankehityksen edelläkävijöiden joukossa myös sisätilapaikannuksessa, ja useat yritykset, kuten mm. Quuppa, HERE (oli osa vanhaa Nokiana) ja IndoorAtlas, ovat luoneet siitä merkittävää liiketoimintaa.

WLANiin tai Bluetoothiin perustuvan paikannuksen edellyttämää infrastruktuuria ei pelastus- tai puolustusoperaatioissa voida olettaa olevan käytettävissä. Lisäksi on usein mahdotonta valmistella ympäristöä etukäteen, mikä on vaa-



Kuva 1. Infrastruktuurista riippumattomassa paikannuksessa käytettävät anturit kiinnitettynä taistelijan varusteisiin. (Kuva: Martti Kirkko-Jaakkola)

timus, jotta kyseisiin radiosignaaleihin perustuvalla paikannuksella voidaan tuottaa tarkkaa paikkatietoa. Tarvitaan siis menetelmä, joka tuottaa tarkkaa ja luotettavaa paikkatietoa ja joka käyttää hyväkseen vain taistelijan mukanaan kantamia välineitä ja on toimintavalmis heti tuntemattomaankin tilaan saavuttaessa. Toistaiseksi ainoa vaatimukset täyttävä menetelmä on useiden erilaisten liikettä tai ympäristöä havainnoivien anturien mittausten yhdistäminen.

Infrastruktuurista riippumaton taistelijan tilannetietoisuus (Infrastructure-free tactical situational awareness INTACT)

Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta MATINE rahoitti vuosina 2015–2017 hanketta nimeltä Infrastruktuurista riippumaton taistelijan tilannetietoisuus (INTACT). INTACT-hankkeessa tutkittiin menetelmiä, joiden avulla voidaan tuottaa taistelijan tilannetietoisuutta sellaisissa tilanteissa, joissa rakennuksesta tai sen infrastruktuurista ei ole mitään ennakkotietoa ja on edettävä nopeasti. Tällaisessa tilanteessa taistelijan on saatava luotettavaa tietoa siitä, missä hän parhaillaan on ja miten pääsee turvallisesti ja nopeasti seuraavaan kohteeseen. Komentokeskuksen on tiedettävä kokonaistilanne: missä joukot sijaitsevat ja mitä ne tekevät parhaillaan. Tällaisen tilannetietoisuuden saavuttamiseksi tarvitaan tarkkaa ja luotettavaa sisätalapaikannusta. Lisäksi tilasta on muodostettava jonkintasoinen kartta tai kuva sekä parantamaan sisätalapaikannuksen tarkkuutta että kokonais kuvan muodostamista varten.

Tilannetietoa voidaan muodostaa käyttämällä vain pieniä, edullisia antureita ja kehittyneitä laskentamenetelmiä. Inertia-anturit (ts. kiihtyvyydanturit ja gyroskoopit eli kulmanopeusanturit) ovat toimintaympäristöstä riippumattomia sekä satelliittipaikannuksen estävälle tahalliseksi radiohäirinnälle immuuneja, ja siten ne ovat ihanteellisia vaihtelevissa olosuhteissa ja ympäristöissä tapahtuvaan taistelijan paikannukseen. Modernit mikroelektromekaaniset (microelectromechanical system, MEMS) anturit ovat kooltaan pieniä, hinnaltaan edullisia ja rakenteeltaan fyysistä rasiitusta kestäviä, joten niitä voidaan liittää taistelijan varustukseen ilman, että ne haittaavat operaatiota.

Antureiden avulla saadaan laskettua taistelijan suuntaa ja nopeutta. Tämän tiedon avulla voidaan selvittää taistelijan paikka jatkuvasti suhteessa lähtöpaikkaan ja -suuntaan. Menetelmä kärsii kuitenkin mittausvirheistä, jotka kasautuvat ajan myötä ja siten aiheuttavat paikannustarkkuuden jatkuvaa heikkenemistä. Tämä on ongelma erityisesti edellä mainittuja MEMS-antureita käytettäessä. Kun inertia-anturit kiinnitetään taistelijan jalkaan, voidaan käyttää niin sanottua nollanopeuspäivitystä (Zero Velocity Update, ZUPT). Tämä perustuu siihen, että jokaisella askeleella jalka on pienen hetken paikallaan osuessaan maahan. Tämä paikallaanolo voidaan havaita mittauksesta ja käyttää anturin sys-

temaattisten virheiden korjaamiseen jatkuvasti. Tämän avulla voidaan tuottaa tarkkaa sijaintitietoa hieman pidemmäksi aikaa, mutta menetelmä ei kuitenkaan korjaa tilannetta kokonaan.

Anturien käyttö vaatii ajoittaista virheiden korjaamista muualta saadun informaation perusteella. Esimerkiksi pohjakartan käyttö paikannuksen rajoitusehtona lieventää mittausvirheiden vaikutusta sijainnin tarkkuuteen ja vähentää vaadittavien korjausten tarvetta. Tällä hetkellä useat kansainväliset toimijat muodostavat julkisista tärkeimmistä rakennuksista sisätalokarttoja. Valitettavasti sotilasoperaatiot eivät rajoitu vain näihin kartoitettuihin rakennuksiin, ja näin ollen valmiiden pohjakarttojen käyttö ei tuo aina tilanteeseen apua. Ainoa toimiva keino tuottaa tarkkaa sijaintitietoa tällaisessa tilanteessa pidemmäksi aikaa on yhdistellä useiden erilaisten anturien mittauksia. Anturit kärsivät erilaisista virhelähteistä, ja siksi mittausten älykäs yhdistäminen on toimiva keino tarkan sijaintitiedon määrittämiseen. Taistelijan varusteisiin kiinnitetty kamera on yksi parasta paikannustulosta tuottavista antureista yhdistettynä inertia-antureihin. Kuljettu matka ja kulkusuunta voidaan laskea kahdesta peräkkäisestä valokuvasta niissä esiintyvien hahmojen siirtymistä tarkkailemalla.

Tilannetietoisuuden saavuttamiseen tarvitaan paikannustuloksen lisäksi hahmotelma ympäristöstä, mieluiten pohjapiirrosmainen kartta. Navigoinnin aktiivisena tutkimusalueena on tekniikka, jossa navigoija sisätiloissa muodostaa ympäristöstä karttaa samalla, kun paikantaa itseään. Vastavasti muodostettava kartta parantaa paikannusta jatkuvasti. Tekniikkaa kutsutaan nimellä Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). Perinteisesti SLAM-tekniikassa on muodostettu kartta siten, että mitataan etäisyyttä ympäristössä oleviin kohteisiin käyttäen stereokameroita sekä erilaisia aktiivisia sensoreita, kuten laseretäisyydmittaria. Kun stereokameraa käyttävät jalan kulkevat taistelijat, sen koko ei voi olla kovin suuri. Toisaalta stereokameran kameraparin kameroiden välinen etäisyys on merkittävä saadun paikannuksen ja kartoituksen tarkkuuden kannalta, joten laitteen pieni koko huonontaa saatua paikannustarkkuutta. Tästä syystä taistelijan SLAM-tekniikassa on käytettävä yhtä, esimerkiksi kypärään tai muihin varusteisiin, kiinnitettyä kameraa. Yhden kameran käytössä paikannuksessa on kuitenkin omat haasteensa, joista merkittävien on kuvattavien kohteiden ja kameran välinen etäisyys, jota ei tuntemattomassa ympäristössä tiedetä. INTACT-projektissa on kehitetty ongelmaan ratkaisu ja saatu tuotettua tarkkaa ja luotettavaa horisontaalista sijaintitietoa yhdistämällä inertia-anturit ja kamera.

Pelastus- ja puolustusoperaatioissa on tärkeää tietää horisontaalisijainnin lisäksi myös henkilön korkeustieto. Barometri mittaa ilmanpaineen vaihtelua, ja sen avulla voidaan määrittää taistelijan sijainnin korkeus. Barometri on kuitenkin



Kuva 2. Utin testeissä varusmiehet muun muassa kiipesivät puolapuita ja liikkuivat niitä pitkin sivuttain. (Kuva: Martti Kirkko-Jaakkola)

hyvin herkkä tilan lämpötilan ja esimerkiksi ilmastointilaitteista johtuvalle ilmanpaineen vaihtelulle. Tässäkin tilanteessa anturien yhdistämisestä on apua. Kun barometrin mittaukset yhdistetään esimerkiksi ultraäänilaitteen etäisyysmittauksiin, saadaan luotettavampaa korkeustietoa ympäristössä tapahtuvista muutoksista huolimatta.

Anturimittauksia yhdistettäessä koko navigointijärjestelmän tärkein osa on huolella suunniteltu estimointiin perustuva fuusiointialgoritmi sekä eri antureiden mittausvirheiden tilastollinen mallinnus. Lisäksi navigoijan liikkumisen mallinnusta (juoksee, ryömii, kävelee, jne.) voidaan tehdä samoja anturimittauksia käyttäen koneoppimisen menetelmillä. Kun taistelijan liikkumistieto otetaan huomioon fuusiointialgoritmissa, voidaan paikannustulosta parantaa edelleen.

Kun aiemmin esiteltyjen, infrastruktuuria tarvitsevien, paikannusmenetelmien tapauksessa voitiin puhua absoluuttisesta sijaintitarkkuudesta, on antureihin perustuvassa suhteellisessa sijainninmäärityksessä puhuttava navigointiaikaan, tai oikeastaan kuljettuun matkaan, suhteutetusta tarkkuudesta. Erittäin hyvänä tarkkuutena pidetään sitä,

jos sijainnin virhe on yhden prosentin kuljetusta matkasta, kuten esimerkiksi 10 metriä kilometrin kulkemisen jälkeen. Tällä hetkellä tuo 1 % tuntuu olevan paras tulos, mihin infrastruktuurittomassa navigoinnissa on päästy, ja nämäkin tulokset on kirjallisuudessa usein saavutettu hyvin kontrolloituissa olosuhteissa testeissä, jotka on yleensä tehty kävelen suoraa linjaa.

Intact-projektissa kehitettiin yllä kuvailtuja estimointi-, virheenmallinnus- ja koneoppimismenetelmiä taistelijan navigointijärjestelmän anturimittauksia yhdistämään. Taistelijan varusteissa kypärään, vartaloon ja jalkaan kiinnitettiin inertia-anturit, kamera rintaan, barometri kypärään ja ultraäänianturi liiviin selkäpuolelle (kuva 1). Kehitettyä menetelmää testattiin Utin varuskunta-alueen harjoitushallissa. Halli sisälsi sisätilanavigoinnille haastavia tiloja: avaria halleja, kapeita käytäviä sekä pieniä huoneita. Kaksi varusmiestä suoritti testin, jonka aikana he kävelivät, juoksivat, hyppivät, kiipesivät puolapuita ylös ja alas sekä kulkivat puolapuita pitkin sivuttain. Projektissa kehitetyn infrastruktuurista riippumattoman, vain anturimittauksia yhdistelevän menetelmän avulla lasketun navigointiratkaisun tarkkuus oli 1 %, tarkemmin sanottuna sijainnin virhe testin lopussa oli neljä metriä 400 metrin matkalla. Tulos olisi huomattavan hyvä, kun otetaan huomioon haastava ympäristö ja tavallisuudesta poikkeavat liikkumismuodot.

Sisätilapaikannuksen tarkkuus paranee sijaintitiedon jakamisesta joukon sisällä

Infrastruktuurista riippumattoman sisätilapaikannuksen tarkkuutta voidaan edelleen parantaa käyttämällä niin sanottua verkottunutta paikannusta. Verkottuneessa paikannuksessa taistelijat mittaavat radiosignaalien avulla etäisyyttä ja suuntaa suhteessa toisiinsa. Yleisimmin mittaukseen käytetään Ultra-Wideband (UWB) -signaaleja, mutta tulevaisuudessa 5G-signaalien käytöstä odotetaan olevan menetelmälle paljon hyötyä. Kun verkon yhdellä tai useammalla jäsenellä on tarkka sijaintitieto, tätä tietoa voidaan muuntaa muiden verkon jäsenten sijaintitiedoksi etäisyys- ja suuntatietoa hyödyntäen. Tällainen menetelmä on erittäin hyödyllinen silloin, kun joku verkon jäsenistä on esimerkiksi ulkona ja voi hyödyntää satelliittipaikannusta, mutta se parantaa sijainninmääritystä myös kaikkien taistelijoiden ollessa sisällä infrastruktuurista riippumattoman paikannuksen varassa.

Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen ja norjalaisen tutkimuskeskus SINTEF:n Collaborative Augmented Navigation for Defence Objectives (CANDO) -yhteishankkeessa kehitetään tilannetietoisuutta urbaanissa ympäristössä ja sisätiloissa tapahtuvissa operatioissa. Hankkeessa kehitetään menetelmä, jolla sisätilapaikannuksen tarkkuutta voidaan ennestään parantaa haastavissa olosuhteissa. Päämääränä on, että 30–40 henkilön ryhmä voi navigoida sisätiloissa sijaintivirheen ollessa parin metrin luokkaa vähintään 10 minuutin



Kuva 3. Verkottunut paikannus parantaa sisätilanavigoinnin tarkkuutta merkittävästi. (Kuva: Martti Kirkko-Jaakkola)

ajan. Naton Science for Peace and Securityn rahoittamassa hankkeessa yhdistetään Intact-projektissa kehitetty infrastruktuurista riippumaton paikannusmenetelmä SINTEF:n verkottuneeseen paikannusmenetelmään. Hanke on alkanut vuoden 2018 alkupuolella, ja se kestää vuoden 2019 loppuun saakka. Eli vaikka sisätilanavigoinnin tarkkuus infrastruktuurista riippumattomilla menetelmillä ei vielä ole kaikissa tilanteissa riittävällä tasolla, tutkimus asian parissa on aktiivista ja tulokset paranevat jatkuvasti.

Kirjoittaja:

Tekniikan tohtori Laura Ruotsalainen toimii apulaisprofessorina Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen osastolla sekä tutkimusprofessorina Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksessa.