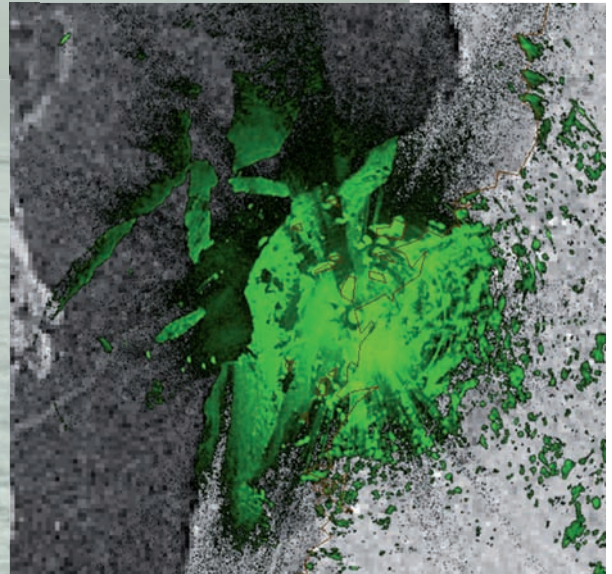


Laivat ja rannikkoasemat anturiverkoksi

Turvallisesti jäissä

Riku Lumiaro, Merentutkimuslaitos



Rannikkotutkakuva Radarsat-satelliitin ottaman kuvan päällä

Jäissä kulkevat laivat tarvitsevat tietoa jääkentästä turvallisen ja sujuvan kulun takaamiseksi. Ship Sensor Net -hankkeessa tutkitaan, miten laivat ja rannikkoasemat voisivat muodostaa anturiverkon jäätilanteen automaattiseksi seuraamiseksi.

Nykyään laivoille välitetään satelliittikuvia, jäähavaintoja ja -ennusteita reitinsuunnittelun tueksi. Tulevaisuudessa laivat ja niiden tutkat voisivat olla osana jäätä havaitsevaa anturiverkkoa ja tarjota tuoretta tilannekuvaa jääkentästä. Tiedonsiirtotekniikat mahdollistavat laiva- ja rannikkotutkakuvien keräämisen, koostamisen ja välittämisen takaisin laivoille.

Laivat antureina

Nykyään laivoille välitetään satelliittikuvia, jääkarttoja sekä mallipohjaisia sää- ja jääennusteita. Satelliittikuvat ovat tarkkoja ja kattavat laajoja alueita, mutta ne myös vanhenevat nopeasti, erityisesti jos jääkenttä on liikkeessä.

Ship Sensor Net -hankkeessa kehitetään menetelmiä, joilla laivat voisivat havainnoida jääkenttää ja välittää siitä automaattisesti tietoja. Laivat muodostaisivat anturiverkon, joka täydentää ja päivittää satelliittikuvien ja jääkarttojen muodos-

tamaa tilannekuvaa.

Tietoja kerätäisiin sekä laivojen tutkakuvista että suorituskyvystä. Mitä useamalta laivalta tietoa kerätään, sitä kattavampi kokonaiskuva saadaan. Kokonaiskuvan saamiseksi myös rannikkotutkat on tarkoitus ottaa mukaan anturiverkkoon.

Laivoilta ja tutka-asemilta kerätään tietoa palvelinpuolelle koostettavaksi ja analysoitavaksi ja jalostettu tieto välitetään takaisin laivojen hyödynnettäväksi. Tiedon keräämisessä ja välittämisessä täytyy ottaa huomioon kapea tiedonsiirtoväylä eli laivoille lähetetään räätälöidysti vain navigoinnin kannalta oleellinen tieto.

Tutkakuvan kaappaus

Hankkeessa käytetään tutkakuvan kaappaukseen erillistä Image Soft Oy:n kehittämää tutkavideopalvelinta. Laivoilla ja rannikkotutka-asemilla on käytettävissä niiden oman tutkan muodostama monitoritasoinen tutkakuva, mutta se ei välttämättä sovi kovin hyvin tämän hankkeen

tavoitteisiin.

Toisaalta navigointia ja muita vastaavia toimintoja ei voida vaarantaa säätämällä tutkakuvaa tutkimushankkeen tavoitteisiin sopivaksi. Erillisellä tutkavideopalvelimella voidaan tutkakuvan muodostus säätää paremmin sopivaksi jäätilanteen analysointiin ilman, että se vaikuttaa navigointiin käytettävään tutkakuvaan.

Tutkavideopalvelimessa on myös mahdollisuus yhdistää muita mittaus-, paikka- ja tilatietoja tutkakuviin.

Tutkavideopalvelin

Tutkakuvan kaappain eli tutkavideopalvelin pohjautuu kaupalliseen PC-tekniikkaan. Tutkavideopalvelimen tehtävä on muodostaa tutkalta saatavista signaaleista PPI-muotoisia (Plan Position Indicator) tutkakuvia sekä tallentaa ja välittää muodostetut tutkakuvat edelleen jalostettaviksi tai hyödynnettäviksi.

Tutkavideopalvelin digitoi samanaikaisesti tutkalta tulevan videosignaalin sekä liipaisu- ja antennipulssit. Liipaisupulssi kertoo hetken, jolloin tutka lähettää suuritaajuisen pulssin, ja antennipulssista saadaan selville tutkan antennin suunta.

Tutkavideosignaali sisältää etäisyys- ja voimakkuustiedot näkemäalueella olevista kohteista heijastuneista tutkakaiuista. Digitoidusta videosignaalista ja pulsseista tutkavideopalvelin rasteroi eli laskee halutuun parametrein yhden kuvan jokaista

Linkki pankki

Prossessorin 11/2008 Pro teknologia -tutkimusnumeron linkki-pankkiosiossa on tähän artikkeliin liittyviä nettiosoitteita.

antennierrosta kohti.

Muodostetut tutkakuvat tallennetaan tutkavideopalvelimen kiintolevyille ja välitetään muille tutkakuvia hyödyntäville järjestelmille TCP/IP-verkon kautta. Tutkavideopalvelin voi myös tallentaa digitoitua tutkan raakavideota myöhemmin toistettavaksi tai analysoitavaksi. Lisäksi on mahdollista lisätä toiminnot tutkan etäohjaukseen.

Tutkasignaalin liittämiseksi tutkakuvan kaappaimelle tarvitaan signaaliliitäntäyksikkö, joka sovittaa tutkalta tulevien signaalien tasot tutkavideopalvelimen digitoitokortille sopiviksi.

Kuvamosaiikki

Keräämällä laivatutkien ja rannikkotutkien kuvia voidaan muodostaa kuvamosaiikki, joka kattaa laajemman kuin yhden tutkan alueen. Yksittäisen liikkeessä olevan laivan ottamat kuvat muodostavat nauhan, jonka eri osat on otettu eri aikoihin.

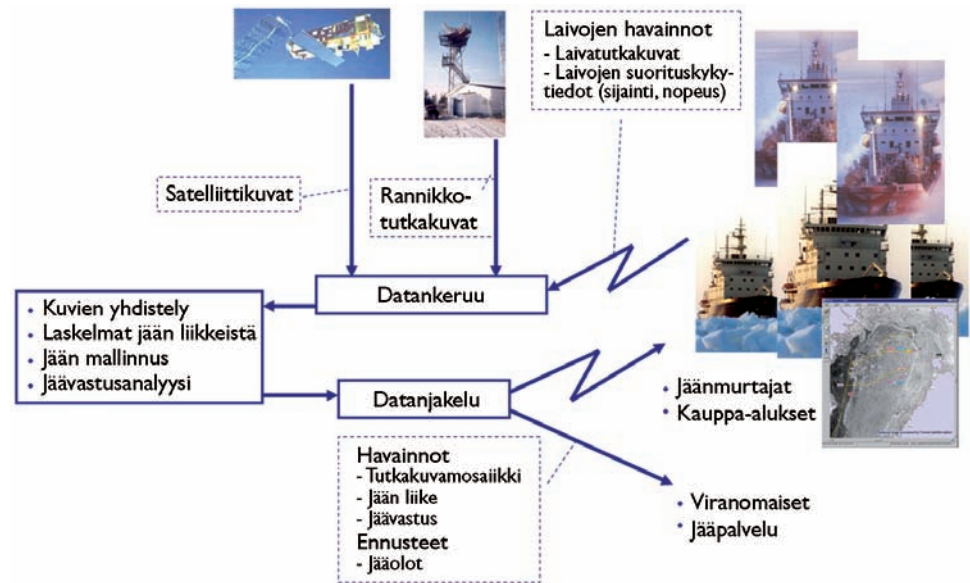
Jos jääkenttä pysyy paikallaan, ovat kuvat hyödynnettävissä tilanteen kestävältä ajalta, ja yhden laivan ottamat kuvat kattavat ison maantieteellisen alueen. Kuvamosaiikki tai sen osa voidaan välittää takaisin laivoille tai jääpalveluihin hyödynnettäväksi.

Esimerkiksi tiettyä satamaa lähestyvä laiva voi katsoa satamaan aikaisemmin saapuneen laivan ottamasta tutkakuvasta, onko satamaan johtava väylä pysynyt paikallaan tai onko alueelle kehittynyt jäävällejä, jotka olisi hyvä kiertää.

Jään liikettä pitää laskea

Jäävallit tai jään paksuus eivät ole ainoita laivan kulkuaan vaikuttavia tekijöitä. Jään liike voi aiheuttaa puristusta jääkentässä, ja laivan kylkiin puristuva jää aiheuttaa lisävastuksen laivalle.

Peräkkäisistä tutkakuvista voidaan arvioida jään liikettä ja keskimääräistä liike-



nopeutta. Liikkeestä voidaan päätellä, onko jääkenttä tiivistymässä, jolloin syntyy puristusta, vai avautumassa, jolloin syntyy uusia ajokelpoisia väyliä.

Liike metreinä saadaan, kun tunnetaan tutkan resoluutio (etäisyys ja kulma). Nopeus saadaan jakamalla jään liikkuma matka kuvien ottohetkien välisellä ajalla.

Liikkuvan laivatutkan tapauksessa on laivan liike ja suunnanmuutokset kompensoitava, jotta jään liike tulkittaisiin oikein. Tutkakuvassa liikkuvat muut alukset saattavat aiheuttaa virhelaskelmia ja ne tulisi myös suodattaa ennen liikkeen arviointia, esimerkiksi perustuen laivoilta saataviin paikkatietoihin.

Jäävastuksen arviointi

Tutkat ja satelliitit näkevät ainoastaan jään pinnan. Ne eivät pysty suoraan mittaamaan jääkentän paksuutta. Kuitenkin esimerkiksi tutkasatelliittien (synteettisen apertuurin tutka eli SAR) mittaama jään

pinnan karkeus vastaa Itämerellä varsin hyvin jään paksuutta.

Ship Sensor Net -hankkeessa tutkitaan, miten näitä tutkasatelliitin epäsuoria paksuushavaintoja voisi täydentää laivoilta saatavilla epäsuorilla paksuushavainnoilla. Mittaamalla laivan käyttämää konetehoa ja saavutettua nopeutta voidaan päätellä, mikä on jään aiheuttama vastus laivalle, eli kuinka paksua jää on.

Keräämällä tietoa usealta laivalta eri merialueilta ja yhdistämällä tieto tutkasatelliitin kuvaan voitaisiin muodostaa laajemman alueen vastuskartta.

Mallinnus havaintojen tukena

Vaikka havainnot jääkentästä ja sen liikkeitä välitettäisiin nopeasti muille käyttäjille, ne ovat kuitenkin aina menneisyyttä. Hankkeessa tutkitaan myös mahdollisuuksia hyödyntää laivaverkon tekemiä havaintoja jäämallinnuksessa tarkempien ennusteiden aikaansaamiseksi.

Havaittu liiketieto voidaan yhdistää jäämalliin tarkempien paikallisten jään liike-ennusteiden laskemiseksi (nk. data-assimilaatio). Liiketietoa voi käyttää myös mallien tulosten luotettavuuden osoittamisessa. Jos malli ennustaa jään liikkuvan siten kuin eri tutkilta saadut havainnot todistavat, on kapteenin helpompaa uskoa mallin ennusteeseen myös jatkossa.

Laivoilta ja tutka-asemilta kerätty tieto koostetaan ja analysoidaan palvelinpuolella ja välitetään takaisin laivoille ja muille loppukäyttäjille hyödynnettäväksi. Observational data are collected from ships and coastal radar stations, processed on server-side and delivered back to the ships and other end-users.

Tutkan signaalit liittyvät tutkakuvan kaappaimen signaaliliitäntäyksikön kautta. Muodostetut tutkakuvat välitetään niitä hyödyntäville järjestelmille TCP/IP-verkon kautta. Radar signals are connected to the radar video server via a signal interfacing unit. Rasterized radar images are delivered to other systems over TCP/IP network.

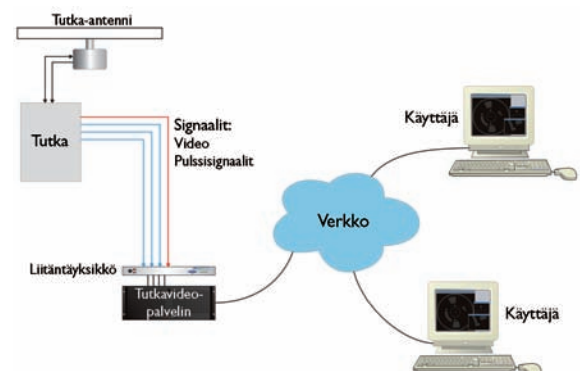
Ships as a sensor network

Information about prevailing ice and weather conditions is important for ships navigating in ice-infested sea areas. Despite the variety of data products at hand there is a need for additional observational data about the ice field properties. For example satellite images cover a large area, but they get outdated quickly, especially when the ice field is moving. Therefore, more up to date observations about the ice field are needed for safe navigation.

The ShipSensorNet project (ships as a sensor network for observing ice field properties) develops methods and a prototype system to automatically collect near real-time coastal radar, ship radar and ship performance data from multiple ships going in ice-infested sea areas. Also local fine-scale sea ice forecasts based on a sea ice model assimilated with the available sensor measurements (e.g. icemotion) will be produced. The collected and modelled data are processed on server side, and a combined view of the ice situation is delivered back to users on board.

The project lasts two years, and during the first year a device for capturing radar images was developed and tested at Raahe coastal radar station. During the second winter the aim is to collect radar images from a ship going in ice.

ShipSensorNet is a joint project funded by Finnish Funding Agency for Technology and Innovation (Tekes). The participants are VTT Technical Research Centre of Finland, Finnish Institute of Marine Research, Helsinki University of Technology (TKK), Image Soft Inc., Rettig Group Ltd Bore, and BP Shipping. Contact person for the project is Ville Kotovirta (ville.kotovirta@vtt.fi).



Laivat ja rannikkoasemat anturiverkoksi

Hajautettu järjestelmä

Kokonaisjärjestelmä on hajautettu usean toimijan kesken ja koostuu erilaisista ohjelmisto- ja laitteistokomponenteista.

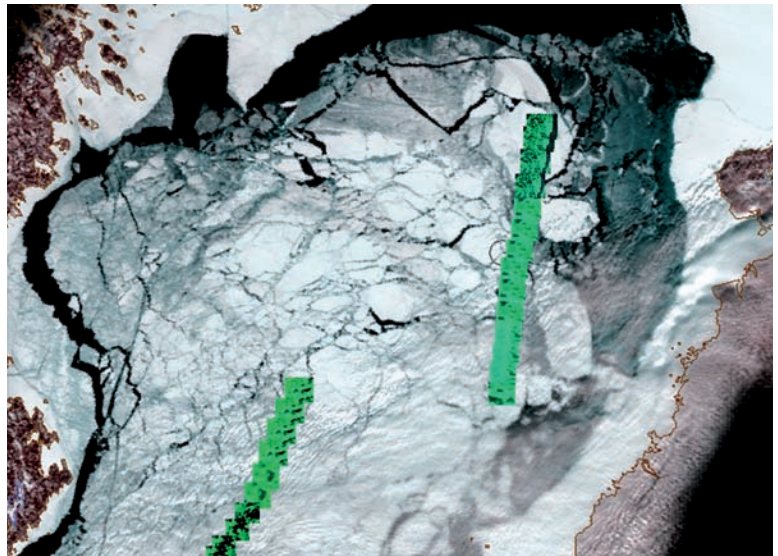
Laivoilta ja rannikotutkulta kerätty tieto välitetään maissa oleville palvelimille, joissa toimivat ohjelmat jalostavat raakatietoa jäätietotuotteiksi, jotka edelleen välitetään laivoille ja jääpalveluihin.

Hajautetussa järjestelmässä eri komponenttien väliset rajapinnat nousevat tärkeään rooliin. Tarvitaan myös ohjelmistot, jotka välittävät tietoa rajapintojen mukaisesti.

Projektin aikana on suunniteltu ympäristötietoa jakelevan ohjelmistokomponentin arkkitehtuuria ja prototyyppejä, jota sitten hyödynnetään tiedostojen välittämiseen.

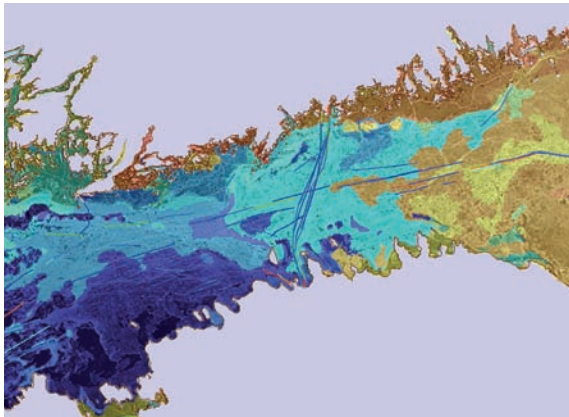
Hahmotelma siitä, miltä laivoilta kerätystä tutkadatasta muodostetut kuva-mosaikit voisivat näyttää satelliittikuvan päällä. Tutkakuviin tieto päivittää ja täydentää satelliittikuvassa näkyvää tietoa (taustalla Modis-satelliitin kuva).

A sketch of two ship radar image mosaics on top of a satellite image. Image mosaics update the information in satellite images (background image from the MODIS instrument).



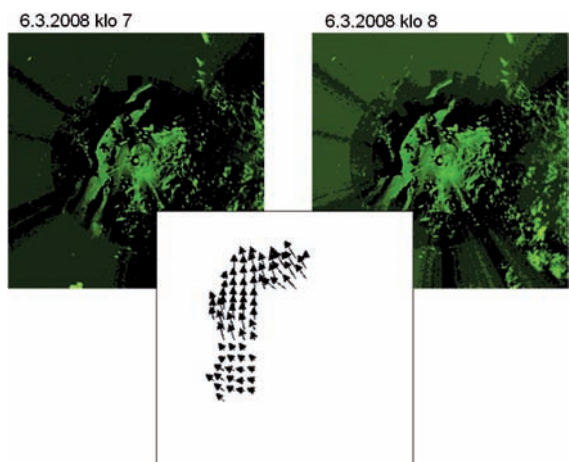
Kohti arktisia alueita

Projekti on kaksivuotinen ja ensimmäinen projektivuosi on nyt takana. Ensimmäisen



Hahmotelma siitä, miltä jäävastuskartta voisi näyttää. Eri värit kertovat, kuinka hankalaa laivan on kulkea milläkin alueella, ja väritetyt viivat ovat yksittäisten laivojen vastushavaintoja. Kartta perustuu satelliittikuvan, jäänpaksuuskartan, laivahavaintojen ja laivan kuvavastusmallin tietoihin.

A sketch of an ice resistance chart. Different colours indicate the amount of ice resistance, and colourful lines are observations of individual ships. The chart combines information from satellite imagery, ice thickness charts, ship observations and ship transit models.



Kahdesta peräkkäisestä, tunnin välein otetusta tutkavasta laskettu jään liike esitettyinä vektorikenttänä.
Ice drift calculated from two successive radar images.

talven aikana testattiin tutkakuva kaappaavaa laitetta Raahen luotsiasemalla. Seuraavana talvena on tarkoitus kerätä tutkadataa myös jäissä liikkuvalla laivalta.

Järjestelmää kehitetään ja testataan Itämerellä, maailman vilkkaimmin liikennöidyllä jäätyvällä merialueella. Itämerellä liikennettä ohjaavat jäänmurtajat ovat jäätiedon ensisijaisia käyttäjiä, sillä kauppalaivat joutuvat noudattamaan jäänmurtajien määrittämiä reittipisteitä. Kuitenkin navigoitaessa reittipisteiden välillä sekä talven alku- ja loppupuolella, jolloin murtajakapasiteettia on vähemmän käytössä, kauppalaivat voivat hyödyntää tarkempaa jäätietoa itsenäisesti.

Itämerellä testattua tekniikkaa voidaan hyödyntää muillakin merialueilla. Kun ilmastonmuutos etenee ja arktisilla alueilla syntyy uusia öljyn- ja tavarankuljetusreitit, tarvitaan uusia järjestelmiä

turvallisten ja taloudellisten kuljetusten takaamiseksi.

Uusilla reiteillä kuljetusalukset ja -saatueet ovat riippuvaisia omasta navigointikyvystään ja tarvitsevat perinteisten satelliittikuvien ja jääkarttojen lisäksi niitä täydentäviä maanpäällisen havaintoverkon havaintoja ja havaintoihin perustuvia yhä tarkempia eri merialueille räätälöityjä jääennusteita. ■

Taustat

Kirjoittajat: Ville Kotovirta, VTT; Ari Niemi, Image Soft Oy; Juha Karvonen, Merentutkimuslaitos
Yhteyshenkilö: Ville Kotovirta, ville.kotovirta@vtt.fi

Tutkimus: ShipSensorNet – Ships as a sensor network for observing ice field properties

Yhteistyössä: Merentutkimuslaitos, TTK, Image Soft Oy, Rettig Group Ltd Bore, BP Shipping, Tekes

Tekes-ohjelma: Ubicom

Jään liikkeen laskeminen

■ Jään liikettä peräkkäisten tutkakuviin välillä lasketaan niin sanottuun vaihekorrelaatioon perustuvalla algoritmilla. Vaihetieto kertoo kuvassa esiintyvistä reunoista eikä ole kovinkaan herkkä kuvissa esiintyvälle taajuudeltaan pienemmille muutoksille, joten se soveltuu hyvin liikkeen arviointiin tutkakuviin.

Vaihekorrelaatio lasketaan neljänmuotoisissa kuvaikkunoissa, joiden sivun pituus on yleensä 8–32 pikseliä. Algoritmi on alun perin kehitetty synteettisen apertuurin tutkadatalle (SAR eli Synthetic Aperture Radar), jossa kuvien lokaalinen dynamiikka vaihtelee mittauskulmasta riippuen.

Vaihekorrelaatiot lasketaan moniresoluutioisessa pyramidissa, jolloin voidaan vähemmällä laskennalla löytää suuremmat siirtymät ja siirtymäkentät tarkentuvat laskennan edetessä.

Resoluutioitasojen määrä riippuu siitä, mikä on pikselikoko ja mikä suurin mahdollinen siirtymä. Esimerkiksi jos pikselikoko on 1 m ja korrelaatioikkuna 32 x 32 pikseliä, on suurin laskettavissa oleva siirtymä yhdellä resoluutioitasolla 32 m, kahdella 64 m, kolmella 128 m ja niin edelleen. Käytännössä algoritmi toteutetaan 2-D-FFT:n avulla.

$$(dx, dy) = \arg \max_{(x,y)} \{I_p(x,y)\} = \arg \max_{(x,y)} \left\{ \text{FFT}^{-1} \left[\frac{X_1 * (k,l) X_2 * (k,l)}{X_1 * (k,l) X_2 * (k,l)} \right] \right\}$$

Siirtymä kohdassa (x,y) on siis suurinta vaihekorrelaatiota vastaava siirtymä (dx,dy).

Koska FFT olettaa datan jaksolliseksi, ennen muunnosta dataikkuna konvoloidaan gaussisella 2-D-ikkunalla. Siirtymiä lasketaan vain niille kuvan alueille, joilla on reunanetsintäalgoritmin mukaan riittävän voimakkaita reunoja. Tämä säästää laskenta-aikaa, kun homogeenisille alueille ei turhaan yritetä laskea siirtymiä.

Ennen reunanetsintää ja liikkeenestointia kuvista suodatetaan kohinaa vähemmäksi. Suodatuskeinoja voivat olla esimerkiksi painotetut spatiaaliset ja temporaaliset keskiarvot. Lopuksi liikekentille tehdään vielä vektorimediana-suodatus sopivankokoisessa ikkunassa. Tämän suodatuksen on todettu vähentävän satunnaisia virhe-estimaatteja, tosin resoluution kustannuksella.