

LOPPURAPORTTI

Projektin nimi Augmented Reality for Building and Construction Industry		
Lyhytnimi AR4BC	Projektinumero 22722	Sivuja/liitesivuja 9 + liitteet
Projektin vastuhenkilö Charles Woodward	Raportin laatija Charles Woodward	
Asiakas Tekla, Skanska, Pöyry, Buildercom, DeskArtes, Adactive, Tekes	Asiakkaan viite ja/tai yhdysenkilö Tekes Dnro 953/31/08	
{Paikka} 3.1.2011 Allekirjoitukset		
Charles Woodward Projektipäällikkö, laatija	Caj Södergård Teknologiapäällikkö, tarkastaja, hyväksyjä	

VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai projektissa tuotetun raportin osittainen julkaiseminen on sallittua vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Tavoitteet	3
2.	Tulokset	4
2.1.	Ohjelmistot	4
2.2.	Ohjelmakoodi	5
2.3.	Dokumentaatio	5
2.4.	Raportit	5
2.5.	Patenttselvitys	5
2.6.	Patenttihakemus.....	5
2.7.	Julkaisut	5
2.8.	Opinnäytteet	5
2.9.	Muut tulokset	6
3.	Resurssit ja organisaatio	7
4.	Aikataulu ja projektin tärkeimmät tapahtumat	7
5.	Ongelmat ja poikkeamat suunnitelmasta.....	8
6.	Yhteenveto	9
	Liitteet.....	9

1. Tavoitteet

Projektsuunnitelmaa (liitteenä) lainaten, projektin tavoitteet on ilmaistu seuraavassa:

The AR4BC project goal is to provide the mobile user at the construction site with direct two-way access to 3D CAD and 4D BIM information. Virtual models correctly matched and augmented to the real situation at the site, and real world data linked back to the building model at the office, will offer completely new kind of access to and interaction with complex building model data, e.g.:

- *photorealistic augmented visualization of 3D building models;*
- *augmented display of part information, 2D drawings and plans;*
- *immediate comparison with time tables and plans at the construction site;*
- *displaying of next building steps as well as the ready building;*
- *location based feedback to the BIM model from the construction site.*

The expected benefits for application users are photorealistic augmented visualizations of architectural plans, mobile access and feedback to digital building data during and after construction, improved communication, and increasingly versatile use of BIM models.

Applications will be developed both for exterior and interior use, enabling also applications for marketing and presentation purposes. Besides construction site follow-up and visualization, safety issues and building life cycle management are addressed as potential further applications.

The work includes development of core technologies, in particular mobile AR, vision based tracking, 4D BIM visualization and interaction, as well as evaluation of application prototypes in real construction projects.

Part of the work will be carried out in co-operation with international research partners. The work will be reported in industry seminars as well as at scientific conferences and journals.

The final goal after the project is operational and commercial exploitation of the project results, in co-operation with VTT and the project's industrial partners.

2. Tulokset

2.1. Ohjelmistot

Projektin tuloksena on syntynyt nk. AR4BC-ohjelmistokokonaisuus toiminnallisena prototyypinä toteutettuna. Ohjelmisto koostuu seuraavista moduleista:

- *MapStudio*, sovellus jossa yhdistetään rakennusmalli (4D BIM tai OSG) karttapohjaan (esim. Google Earth, GDAL) ja määritellään erilaiset rakennuspaikkakohtaiset tiedot kuten ympäröivät mallit jne. ukotilavisualisointia varten.
- *4DStudio*, johon luetaan ulkopuolelta tulevat mallit halutussa formaatissa ja tarvittaessa yhdeistetään ne aikataulutietoon. Sovelluksessa voi myös visualisoida 4D malleja samoin kuin mobiilisti tuotettuja paikkasidonnaisia raportteja eri tavoin.
- *OnSitePlayer*, toteuttaa augmentoidun ulkotilavisualisoinnin erilaisine piirteineen (tracking jne.) ja interaktiiviseen (mm. ajanhetken ja mallin osien valinta); lisäksi mobiili feedback toimisto-ohjelmaan (4DStudio). Kevyitä päätelaitteita varten sovelluksesta on olemassa myös client-server toteutus.

AR4BC-ohjelmistosta on olemassa yksityiskohtaiset toiminnalliset kuvaukset käyttöohjeissa sekä CIBW78- ja CONVR2010-konferenssiartikkeleissa (liitteinä). Tiivimpi yhteenveto toteutuksesta johtopäätöksineen löytyy lisäksi CONVR2010-esityskalvoista (liitteenä).

Sovellusohjelmien ohella projektiin liityvää työtä on tehty menetelmäkehityksen ja siihen liittyvien demonstraatio-ohjelmien muodossa:

- *Tracking*. Toteutetu eri menetelmiä markkerittomaan kameranseurantaan ulkotiloissa ja kokeiltu erilaisia elektronisia laitteita kuten GPS, kompassi ja kiihtyvyyssanturi.
- *Fotorealistinen visualisointi*. Tätä varten kehitetyt demonstraatio-ohjelmat hallitsevat paitsi ulkotilavisualisointiin toteutettuja piirteitä (varjostus, videon kuvanlaatuun sovittaminen ja valaistuksen säätäminen) myös eri materiaaleja (lasi, peilit) ja automaattisia valaistuksen laskentamenetelmiä. Visualisointiominaisuuksia on toteutettu jakaen töitä sisätilasovelluksiin tähtäävän projektin ARSisustus (Tekes TILA, 2008-2010) kanssa..

Yleisohjelmistosta irrallisena työnä toteutettiin lisäksi *AR-pienoismallisovellus* Pöyryn pyynnöstä.

Ohjelmistoja eri muodoissaan kuvaavat projektissa tuotetut videot, ks. kohdan 2.9 lopussa alla.

2.2. Ohjelmakoodi

Projektissa kehitettyjen ohjelmistojen lähdekoodit luovutetaan projektin jäsenyrityksille mahdollista jatkokehittämistä varten. Lähdekoodit ovat luottamuksellisia, ja kaupallisesta hyödyntämisestä sovitaan erikseen.

2.3. Dokumentaatio

Projektissa kehitettyjen sovellusohjelmien toiminnallisuus on kuvattu suomenkielissä käyttöohjeissa (liitteenä).

2.4. Raportit

Ohjelmiston vaatimusmääritykset ja toteutumat.

Viisi tilannekatsausta ja loppuraportit projektin johtoryhmälle ja Tekesille.

2.5. Patenttiselvitys

AR4BC Patent analysis, Laura Ruotsalainen, VTT, joulukuu 2008

2.6. Patenttihakemus

Hakkarainen M. and Kantonen T., VTT patent application PCT/FI2010/050399. Kansainvälinen patenttihakemus koskien palloprojisointimenetelmää client-server augmentedia ulkotilavisualisointia varten, toukokuu 2010.

2.7. Julkaisut

Woodward C., Hakkarainen M., Korkalo O., Kantonen T. Aittala M., Rainio K., Kähkönen K., "Mixed Reality for mobile construction site visualization and communication", Proc. 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2010), Sendai, Japan, Nov 4-5, 2010, pp. 35-44.

Aittala, M. "Inverse lighting and photorealistic rendering for augmented reality", Proc. Computer Graphics International, Singapore Jun 8-11, 2010, Visual Computer. Vol. 26 (2010) No: 6 - 8, 669 – 678.

Hakkarainen M., Woodward C., Rainio K. "Software Architecture for Mobile Mixed Reality and 4D BIM Interaction", in Proc. 25th CIB W78 Conference, Oct 1-3, 2009, Istanbul, Turkey, 8 p. 517-524.

2.8. Opinnäytteet

Aittala Miika: "Photorealism in Augmented Reality", Diplomityö, Aalto University, 10.02.2010, 116 sivua (arvosana 5/5).

Suhonen Mika: "Lisätyn todellisuuden käyttö rakentamisessa", Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2010, 46 sivua (AR4BC tutkimustiimin ohjauksessa).

2.9. Muut tulokset

Demonstraatioita:

- Arkeologisen kohteen visualisointi Espanjassa, yhteistyössä Labein Tecnalian kanssa lokakuussa 2008.
- Skanskan Ruskeasuon rakennuskohteen visualisointi kesällä ja syksyllä 2010.
- Lukuisia live-demonstraatioita johtoryhmän kokouksissa.

Presentaatioita

- Konferenssiesitelmät liittyen julkaisuihin yllä (CONVR2010, CGI2010, CIB W78 2009, ISMAR 2009)
- Woodward C., Hakkarainen M., Rainio K., "Mobile Augmented Reality for Building and Construction", ISMAR2009 Workshop on Mobile Augmented Reality, Orlando, FL, Oct 19-25, 2 pages.
- Projektiesittelyt mm. Skanskalla 04.09.2008, Pöyryllä 14.5.2009, Teklan BIM-forumilla 08.10.2009 ja Buildercomilla 04.12.2009.
- Lukuisia muita esitelmiä, mm. Japan Society of Civil Engineers 08.11.2010.

Projektitkalvot

- Suomenkieliset projektitkalvot (projektin alussa)
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/projects/AR4BC_Intro.pdf
- Englanninkieliset projektitkalvot (projektin alussa)
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/projects/AR4BC%20slides-2009-02.pdf>
- Englanninkieliset kalvot (projektin tulokset, CONVR2010 esitys), liitteenä.

Videoita:

- AR4BC Case: Skanska Visualization Project
<http://www.youtube.com/user/VTTAugmentedReality#p/u/2/rVt86NGXQv4>
- Photorealistic Rendering for Augmented Reality
<http://www.youtube.com/user/VTTAugmentedReality#p/u/3/fhFzStkoE50>
- Augmentation Using Markerless Tracking: Case Forchem oil refinery
<http://www.youtube.com/user/VTTAugmentedReality#p/u/4/xpZDXih9zLg>
- Augmented Floor Plan
http://www.youtube.com/user/VTTAugmentedReality#p/u/6/dtu0Vf4s_PU

- AR4BC introduction video
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/movies/ar4bc640x480.wmv>

3. Resurssit ja organisaatio

Projektipäällikkö:

Charles Woodward (466 h)

Muut projektin henkilöt:

Mika Hakkarainen (1681 h)

Miika Aittala (718 h)

Kari Rainio (589 h)

Janne Porkka (230 h)

Petri Honkamaa (140 h)

Tatu Harviainen (113 h)

Laura Ruotsalainen (59 h)

Kalle Kähkönen (43 h)

Sanni Siltanen (38 h)

Projektin johtoryhmä:

Jukka Suomi (Tekla) , puheenjohtaja

Hannele Vainio (Skanska)

Keijo Jylhä (Pöyry)

Juha Aspinen (Buildercom)

Ismo Mäkelä (DeskArtes)

Marko Rajala (Adactive)

Virpi Mikkonen (Tekes)

Raimo Launonen (VTT)

4. Aikataulu ja projektin tärkeimmät tapahtumat

Projekti käynnistyi 01.6.2008 ja päättyi 30.11.2010. Pilottikohteiden aikatauluista johtuen Tekes myönsi projektille jatkoaikaa 6 kk alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna.

Projektin budjetti oli 416 k€ ja sen toteutukseen käytettiin 4305 h (29 htkk), mikä on yhtä paljon kuin alun perin suunniteltu.

Osallistujayritykset osallistuivat projektin toteutukseen aktiivisesti myös omalla työpanoksellaan. Erityisesti mainittakoon Teklan projektin käyttöön luovuttamat ohjelmistot, niihin liittyvä koulutus ja tuki, Adactiven työ BIM-mallien tiedonsiirrossa, ja muiden yritysten työ pilottimallien tuottamisessa ja projektin suunnitteluun osallistumisessa.

Projektin tärkeimpinä tapahtumina mainittakoon:

- Projektin käynnistyskokous 14.8.2010

- Demonstraatiot Espanjassa lokakuussa 2008
- Lopulliset vaatimusmääritykset 24.2.2009
- Ensimmäiset versiot projektin ohjelmistoista, sovellusesimerkki Digitalon ympäristössä, esitelty johtoryhmän kokouksessa 18.08.2009
- Konferenssiartikkeli (Woodward ja Hakkarainen) CIB W78-konferenssissa ja workshop-artikkeli ISMAR2010-konferenssissa, molemmat lokakuussa 2009
- Markkeriton tracking Forchemin tehdasmallin kanssa, syksy 2009
- Miika Aittalan diplomityö, helmikuu 2010.
- Mika Hakkaraisen ja Tuomas Kantosen patenttihakemus, toukokuu 2010.
- Konferenssiartikkeli (Miika Aittala) Computer Graphics International 2010 – konferenssissa, kesäkuu 2010
- Tiedonsiirtokokeilut CAVE-visualisointia varten Skanskalle, keväällä 2010
- AR-pienoismallisovellus Pöyrylle, keväällä 2010
- Toinen iteraatio projektin ohjelmistoista, mukaanlukien webbikameratoteutus ohjelmistoista ja mobiili sovellusesimerkki Skanskan Ruskeasuon kohteessa, esitelty johtoryhmän kokouksessa 06.10..2010
- Konferenssiartikkeli (Woodward ja Hakkarainen) CONVR2010-konferenssissa, marraskuussa 2010
- Muita, ks. tulokset yllä ja tilanneraportit johtoryhmälle.

5. Ongelmat ja poikkeamat suunnitelmasta

Projektin tekninen toteutus on keskeisiltä osiltaan tapahtunut alkuperäisten suunnitelmien ja aikataulujen mukaisesti. Tuloksia on raportoitu johtoryhmälle yhteensä kuudessa kokouksessa ja viidessä tilannekatsauksessa.

Käytännössä kaikki vaatimusmäärityksissä prioriteetille 1 ja 2 merkityt tavoitteet on saatu toteutettua, ainoastaan joitain alimman prioriteetin (3) tehtäviä on jätetty tekemättä. Projektissa on toteutettu alkuperäisten tavoitteiden lisäksi myös lukuisia uusia tehtäviä, mm. AR-pienoismallisovellus Pöyrylle, sekä CAVE-tiedonsiirtokokeiluja Skanskalle.

Merkittävimpänä toteutuksen puutteena mainittakoon, että mobiiliin kameraseurantaan kehitettiin kylläkin konenäköpohjaisia menetelmiä (markkeriton tracking) ja testattiin eri laitteita (GPS, kompassi, kiihtyvyyssanturi), mutta näitä ei projektin puitteissa ehditty integroimaan yhteiseksi ns. sensor fusion-ratkaisuksi. Tämän seurauksena ohjelmistojen mobiilikäyttö vaatii tyypillisesti käyttäjäinteraktiota kameraseurannan alustamiseksi.

Toisena projektin toteuttamiseen vaikuttaneena seikkana todettakoon joidenkin suunniteltujen pilottikohteiden aikataulujen viivästyminen (mm. Pöyryn kohde Tilkassa), jonka takia vastaavia kenttäkokeita ei keretty projektin puitteissa järjestämään. Myöskin projektisuunnitelmassa sivutavoitteina mainitut sisätila- ja rakennuksen elinkaarisovellukset jäivät vähäisemmälle huomiolle toteutuksessa.

6. Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta projektin onnistuneen hyvin. Keskeiset tekniset ja tieteelliset tavoitteet saatiin pääosin toteutettua. Kokonaisjärjestelmä vaatii vielä käyttäjäinteraktiota mobiilin kameranseurannan alustamiseen, mutta ratkaisuja voidaan hyödyntää sellaisenaankin esim. arkkitehtimallien visualisoinnissa sekä kiinteiden internet-webbikameroiden kanssa. Projektissa tuotetut tieteelliset artikkelit sisältävät huippuluokan tuloksia mobiilin ulkotilavisualisoinnin ja fotorealisticen visualisoinnin alalla. Tieteelliset tulokset yhdistettynä projektissa toteutettuihin käytännön ohjelmistoprototyyppeihin on huomioitu laajasti maailmalla, ja projektin tulokset ovat soveltuvien osin integroitavissa osallistujarytysten kaupallisiin sovelluksiin.

Liitteet

Projektisuunnitelma

Ohjelmiston vaatimusmääritykset ja toteutumavertailu

Ohjelmistojen käyttöohjeet

Artikkeleita CIBW78 2009, CGI 2010, CONVR2010

Opinnäytetyöt Aittala, Suhonen

Patenttiselvitys (yhteenveto)

Videoita (webbillinkit yllä)

CONVR2010 kalvot