



KHẢO SÁT MỘT SỐ KỸ THUẬT ĐỊNH VỊ TRONG VIỆC NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA THIẾT BỊ THU GPS GIÁ RẺ

Nguyễn Chánh Nghiệm¹, Trần Nhựt Thanh¹ và Nguyễn Chí Ngôn¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 22/12/2014

Ngày chấp nhận: 26/02/2015

Title:

Evaluation of positioning techniques for precision enhancement of low-cost GPS receiver modules

Từ khóa:

GPS, RTK, giá rẻ, chính xác

Keywords:

GPS, RTK, low-cost, precision

ABSTRACT

In order to implement precise farming, it is crucial to obtain precise positions of agricultural machineries, unmanned aerial vehicles, etc. With the current under-developed Global Navigation Satellite System infrastructure, it is difficult to implement precise positioning due to the high cost of the precise positioning system. The aim of this research is to evaluate the precision of low-cost GPS receivers with different positioning techniques, especially Real-Time Kinematic GPS. Preliminary experimental results showed that an RTK-GPS system with self-built base station could achieve positioning precision of 0.2 m when the rover moved in a predefined route. It is promising that low-cost GPS receivers and antennas can be used to implement precise farming where positioning precision is acceptable within 0.2 m.

TÓM TẮT

Để có thể triển khai nông nghiệp chính xác, việc xác định vị trí của máy nông nghiệp, mô hình máy bay không người lái,... là điều kiện hết sức cần thiết. Trong điều kiện hạ tầng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu GNSS của Việt Nam chưa hoàn thiện, việc ứng dụng các hệ thống định vị chính xác có giá thành cao gặp nhiều khó khăn. Nghiên cứu này nhằm khảo sát độ chính xác của một số kỹ thuật định vị, đặc biệt là định vị động thời gian thực RTK-GPS, cho hệ thống chỉ sử dụng máy thu GPS giá rẻ. Kết quả thực nghiệm đối với hệ RTK-GPS với trạm cơ sở tự xây dựng cho thấy sai số vị trí của trạm động khoảng 0,2 m khi trạm động di chuyển theo một quỹ đạo định trước. Kết quả này cho thấy máy thu và ăng ten GPS giá rẻ có thể được ứng dụng để triển khai thử nghiệm một số ứng dụng nông nghiệp chính xác với sai số chấp nhận vào khoảng 0,2 m.

1 GIỚI THIỆU

Hệ thống định vị toàn cầu (GPS – Global Positioning System) đóng một vai trò rất quan trọng trong các ứng dụng khảo sát và dẫn hướng. Tuy nhiên, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của GPS như số lượng vệ tinh vào thời điểm quan sát, điều kiện tầng điện ly, chất lượng máy thu GPS... Để tăng độ chính xác trong định vị,

nhiều kỹ thuật được đề xuất như GPS vi sai (Differential GPS), PPP (Precise Point Positioning), hậu xử lý (Postprocessing), RTK-GPS (Real-time Kinematic GPS). Trong các kỹ thuật này, RTK-GPS là một trong những kỹ thuật tốt nhất và có thể giúp hệ thống định vị đạt độ chính xác đến cấp độ centimet (Takasu and Yasuda, 2008). Tuy nhiên, việc ứng dụng kỹ thuật RTK-GPS gặp nhiều khó khăn do chi phí đầu tư hệ

RTK-GPS quá cao (từ 15.000 USD đến 60.000 USD) (Grisso *et al.*, 2009).

Gần đây, có nhiều nghiên cứu đánh giá khả năng ứng dụng của RTK-GPS với các máy thu GPS giá rẻ chỉ sử dụng tần số L1 của hệ thống định vị toàn cầu (Jensen *et al.*, 2012, Takasu and Yasuda, 2008, Takasu and Yasuda, 2009). Các máy thu GPS giá rẻ này cần phải có khả năng cung cấp dữ liệu thô như giả cự ly (pseudorange), pha sóng mang, lịch sao (satellite ephemeris), để tính toán tọa độ chính xác vị trí của anten thu. Nghiên cứu khảo sát độ chính xác của hệ RTK-GPS cho ứng dụng nông nghiệp khi tự thiết lập trạm cơ sở của Jensen và *ctv.* (2012) cho thấy có hơn 95% các sai số nằm trong khoảng 0.2 m. Trong một thí nghiệm khác của Layton và *ctv.* (2014), độ chính xác được nâng lên đến centimet khi tín hiệu hiệu chỉnh từ trạm cơ sở quốc gia được sử dụng thay cho việc tự thiết lập trạm cơ sở.

Trong điều kiện cơ sở hạ tầng GNSS chưa hoàn chỉnh như ở Đồng bằng sông Cửu Long, việc triển khai nông nghiệp chính xác còn gặp nhiều khó khăn vì hệ thống định vị chính xác có chi phí đầu tư cao. Bên cạnh các máy móc nông nghiệp, các máy bay mô hình không người lái ứng dụng trong nông nghiệp chính xác đang được quan tâm. Tuy nhiên, máy thu và ăng ten lắp trên các máy bay này cần phải nhỏ gọn và nhẹ. Đa số các máy thu và ăng ten giá rẻ đều có thể đáp ứng được yêu cầu này nhưng độ chính xác không cao. Để có thể sớm phát triển các ứng dụng nông nghiệp chính xác, nghiên cứu này khảo sát một số kỹ thuật định vị trong việc nâng cao độ chính xác của các máy thu GPS giá rẻ trong điều kiện hiện nay.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Thiết bị

2.1.1 Phần mềm

Trong nghiên cứu này, thư viện mã nguồn mở RTKLIB phiên bản 2.4.2 (Takasu, 2013) được sử dụng. Một số tính năng nổi bật của phần mềm này gồm có khả năng hỗ trợ các giải thuật định vị chính xác với hầu hết các hệ thống vệ tinh (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou và SBAS), hỗ trợ nhiều chế độ định vị (Single, DGPS/DGNSS, Kinematic, Static, Moving-Baseline, Fixed, PPP-Kinematic, PPP-Static và PPP-Fixed). Ngoài ra, RTKLIB còn hỗ trợ truyền dữ liệu thông qua Serial, TCP/IP, NTRIP, và hỗ trợ nhiều định dạng dữ liệu cài chỉnh như RTCM 2.3, RTCM 3.1, RTCM 3.2,...

Trong nghiên cứu này, ứng dụng chương trình Real-Time Positioning (RTKNAVI) và Communication Server (STRSVR) của thư viện RTKLIB để thực hiện công việc định vị và truyền dữ liệu một cách tương ứng. Các đồ thị thể hiện vị trí và sai số định vị được vẽ bằng chương trình RTKPLOT. Có hai chế độ định vị được sử dụng. Chế độ PPP Static (định vị chính xác điểm tĩnh) dùng để xác định vị trí của đối tượng đứng yên từ một máy thu GPS có hỗ trợ ngõ ra thô (raw data). Chế độ Kinematic (RTK-GPS) được dùng để xác định vị trí chính xác của đối tượng di chuyển hay trạm động (rover station) bằng cách sử dụng thêm dữ liệu GPS thô của trạm cơ sở (base station) truyền đến trạm động trong suốt quá trình hoạt động. Trạm cơ sở có vị trí cố định và tọa độ chính xác biết trước.

2.1.2 Phần cứng

Trong nghiên cứu này, máy thu GPS và ăng ten của hãng u-blox được dùng vì có những điểm nổi bật về tính năng và giá. Hai loại máy thu GPS NEO-6P và NEO-6T của hãng u-blox được sử dụng. Cả hai loại máy thu này đều là máy thu một tần số L1 (1575.42 MHz), hỗ trợ hệ thống SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems) (gồm các hệ WAAS, EGNOS, MSAS), và đều có khả năng cung cấp dữ liệu thô.

Để nâng cao độ chính xác trong định vị, một trạm cơ sở với vị trí anten cố định được thiết lập để cung cấp dữ liệu GPS thô cho đối tượng di chuyển hay trạm động (rover station) để trạm động có thể tính được tọa độ chính xác của nó. Tại trạm cơ sở, máy thu GPS LEA-6T và ăng ten tặng kèm được sử dụng. Tổng giá tiền của hai thiết bị này khoảng 150 USD. Trạm động sử dụng máy thu GPS NEO-6P của hãng u-blox (giá khoảng 180 USD) và ăng ten ANN-MS-0-005 của hãng u-blox (giá khoảng 31 USD) được sử dụng cho trạm di động.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Mô tả thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được thực hiện được phân thành hai nhóm, gồm có thí nghiệm tĩnh và thí nghiệm động. Thông tin của các thí nghiệm được tóm tắt ở Bảng 1. Đối với thí nghiệm tĩnh, việc định vị được thực hiện với chế độ định vị thông thường hay standard positioning (vị trí tính từ giả cự ly của 4 vệ tinh) và chế độ định vị chính xác (cần thông tin giả cự ly và pha sóng mang) (Takasu, 2013b). Các thí nghiệm này được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của giải thuật định vị chính xác điểm. Tuy nhiên, điều cần lưu ý

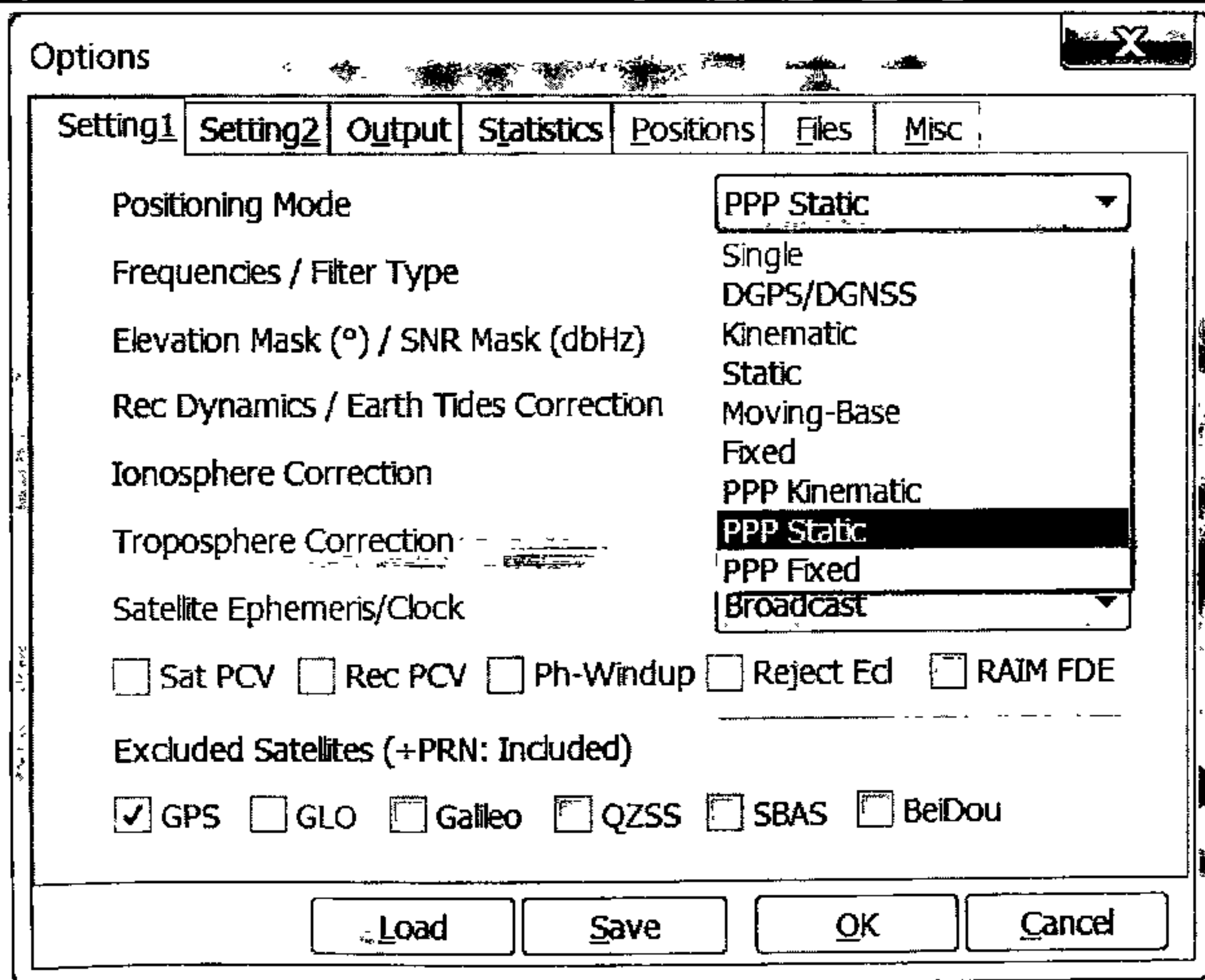
là giải thuật định vị chính xác điểm cần nhiều thời gian để hội tụ. Trong trường hợp máy thu GPS một tần số (L1), giải thuật có thể mất đến hàng giờ để cho kết quả định vị chính xác (Jensen và ctv., 2012) và cũng có khả năng giải thuật cũng không thể hội tụ (Witchayangkoon, 2000).

Thông thường để có thể tăng độ chính xác trong định vị ở trạm động, trạm động cần phải tính toán vị trí hiện tại từ tín hiệu GPS của mình và tín hiệu cải chính hay tín hiệu GPS thô nhận từ trạm cơ sở

có tọa độ chính xác biết trước. Do hạn chế về thiết bị định vị chuẩn có độ chính xác cao, tọa độ của trạm cơ sở được xác định thông qua việc định vị trạm cơ sở trong một khoảng thời gian dài để đảm bảo tọa độ tìm được có sai số nhỏ nhất thông qua giải thuật định vị chính xác điểm khi sử dụng chế độ PPP Static của chương trình RTKNAVI (Hình 1). Sau khi tìm được tọa độ của trạm cơ sở, thí nghiệm ở chế độ động (Kinematic) được thực hiện để đánh giá khả năng định vị của trạm động (rover) sử dụng máy thu GPS giá rẻ.

Bảng 1: Thông tin về các thí nghiệm

Thí nghiệm	Chế độ	Mục đích	Phần cứng
Thí nghiệm tĩnh	- Định vị thông thường - PPP Static	- Xác định tọa độ trạm cơ sở - Đánh giá hiệu quả của giải thuật định vị chính xác điểm	Máy thu NEO-6P và ăng ten ANN-MS-0-005
Thí nghiệm động	- Kinematic	- Đánh giá hiệu quả của giải pháp RTK-GPS (định vị động thời gian thực)	Trạm cơ sở: máy thu NEO-6T, ăng ten dạng patch tương thích Trạm động: máy thu NEO-6P, ăng ten ANN-MS-0-005



Hình 1: Giao diện cấu hình chế độ PPP Static cho RTKNAVI

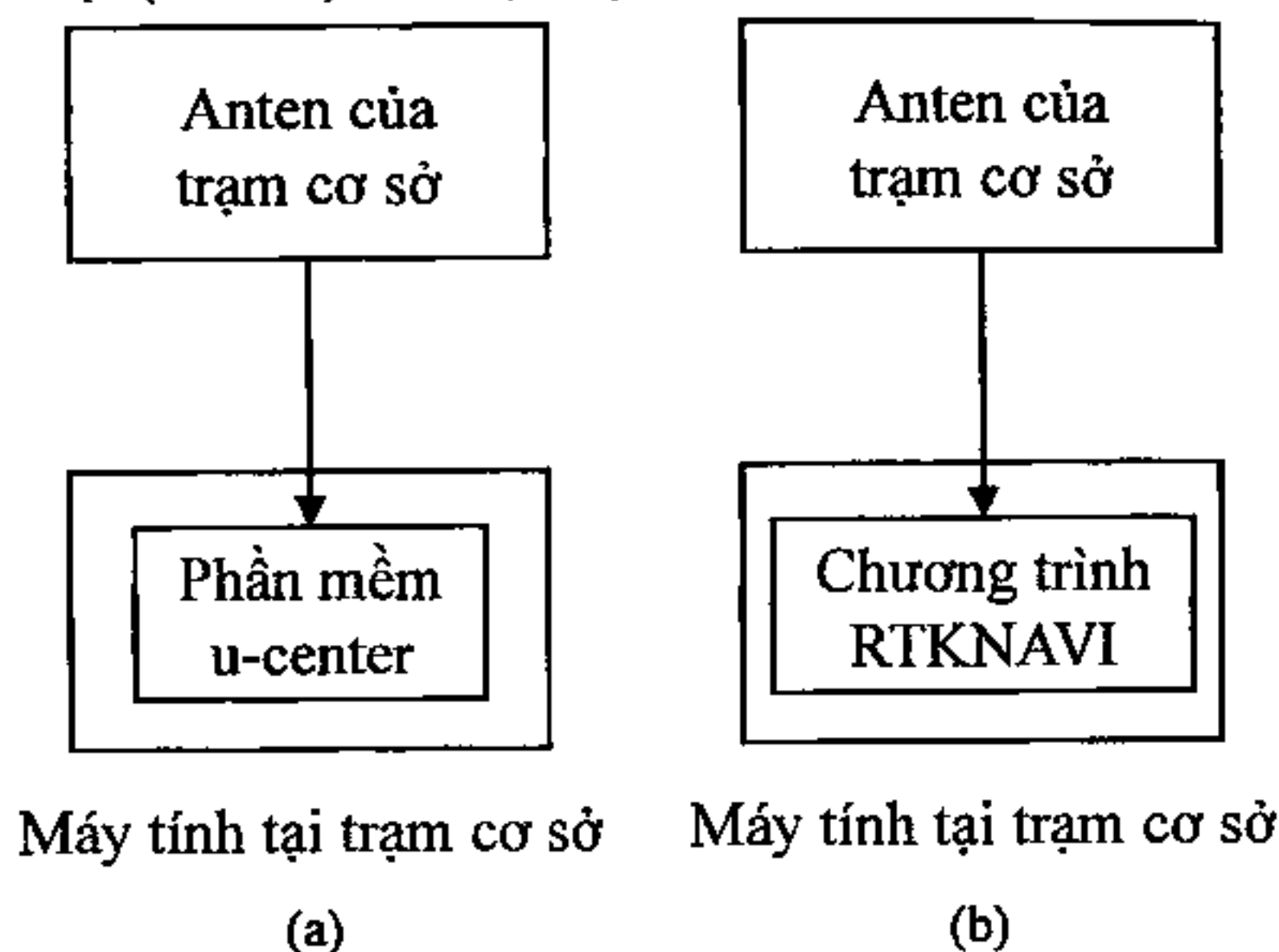
2.2.2 Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm ở chế độ tĩnh với máy thu GPS NEO-6P của u-blox được thực hiện để xác định tọa

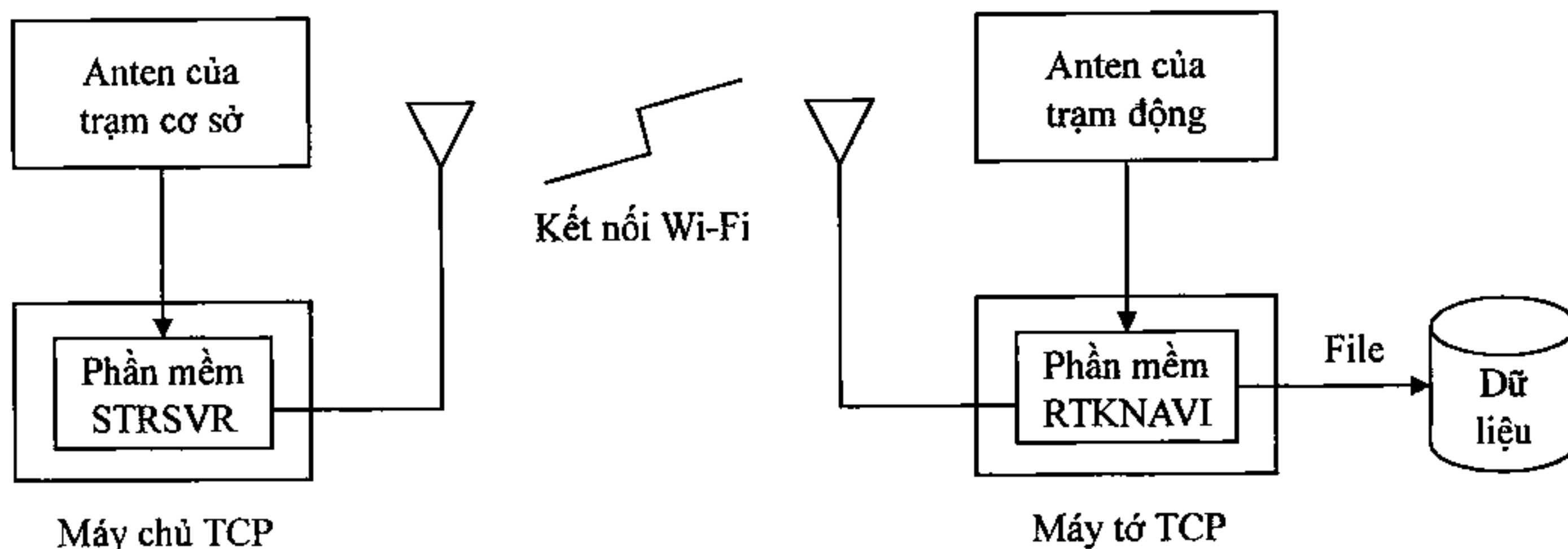
độ của trạm cơ sở. Ăng-ten được sử dụng là loại ANN-MS-0-005 của u-blox. Đối với thí nghiệm tĩnh ở chế độ định vị thông thường (máy thu GPS

tính toán vị trí và xuất dữ liệu vị trí ở ngõ ra), phần mềm u-center phiên bản 8.10 (u-blox AG) được sử dụng để thu thập dữ liệu (Hình 2a). Khi thực hiện ở

chế độ PPP Static, chương trình RTKNAVI của thư viện RTKLIB được sử dụng (Hình 2b).



Hình 2: Bố trí thí nghiệm tĩnh với (a) chế độ định vị thông thường và (b) chế độ định vị PPP Static



Hình 3: Bố trí thí nghiệm động

Khi xác định được vị trí của trạm cơ sở, máy thu GPS NEO-6P được sử dụng cho trạm động và LEA-6T được sử dụng cho trạm cơ sở để thiết lập hệ thống RTK-GPS cho thí nghiệm động. Trong thí nghiệm động, dữ liệu vị trí từ trạm cơ sở (dữ liệu thô) sẽ được gửi đến trạm động thông qua kết nối Wi-Fi. Trạm động sẽ tính toán vị trí chính xác của mình dựa vào dữ liệu vị trí (dữ liệu thô) thu được từ máy thu GPS của trạm động và dữ liệu nhận được từ trạm cơ sở (Hình 3).

3 KẾT QUẢ

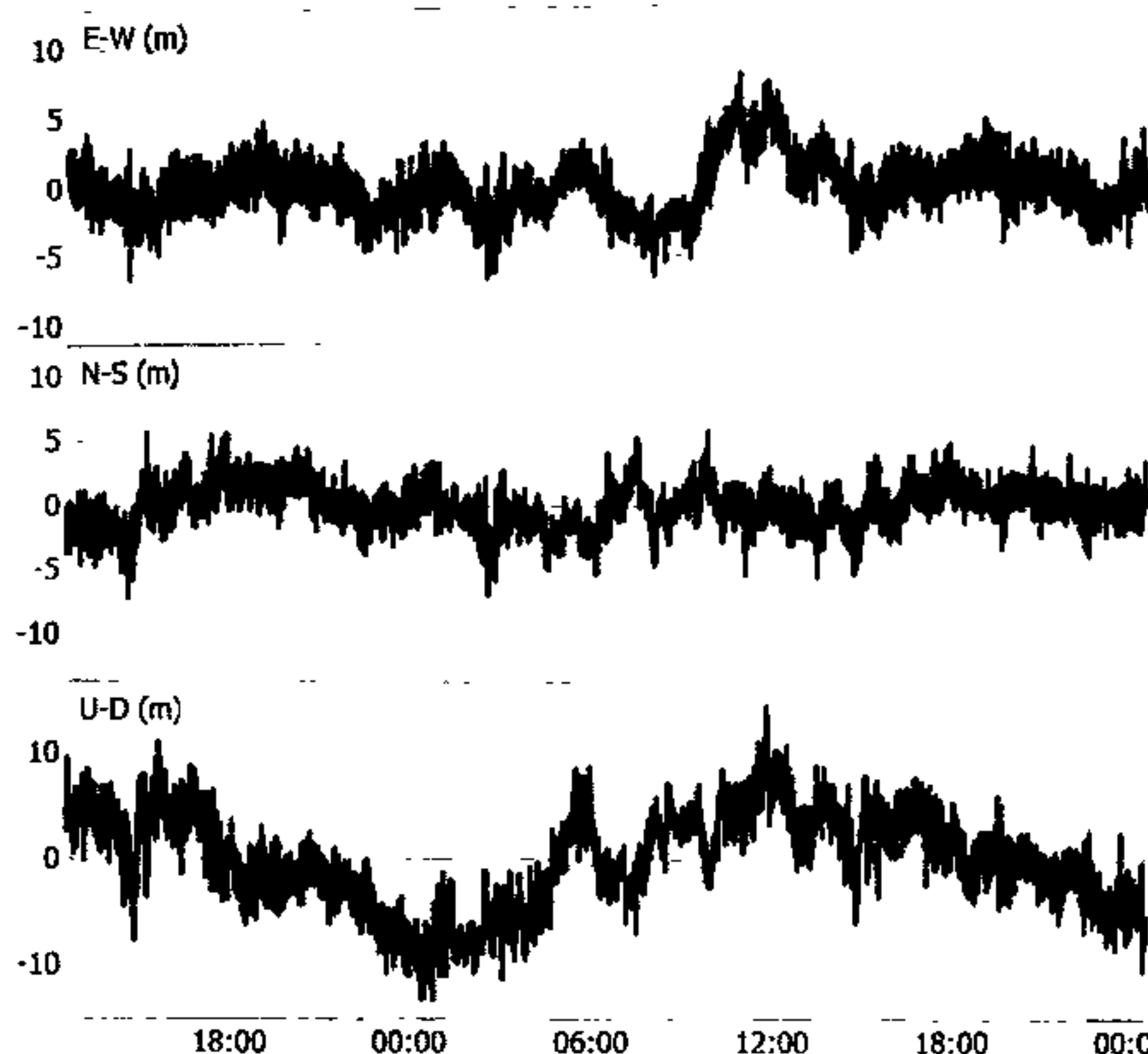
Các thí nghiệm ở chế độ tĩnh (Static) và động (Kinematic) trong nghiên cứu này được thực hiện tại sân bóng chuyên Khoa Công nghệ, Đại học Cần

Thơ, từ tháng 5 năm 2014 đến tháng 11 năm 2014. Các thí nghiệm được thực hiện trong những thời điểm trời trong và tương đối ít mây.

3.1 Thí nghiệm tĩnh

3.1.1 Định vị thông thường

Trong thí nghiệm này máy thu GPS NEO-6P được sử dụng để thu thập tọa độ của một điểm tĩnh trong thời gian dài (gần 36 giờ, từ lúc 12:39:54 GPST ngày 11/11/2014 đến lúc 00:28:11 GPST ngày 13/11/2014). Máy thu được sử dụng với các thông số cài đặt thông thường, nghĩa là tính vị trí từ giả cự ly của 4 vệ tinh. Kết quả thí nghiệm ở Hình 4 cho thấy độ lệch vị trí nhỏ nhất theo phương Đông-Tây và Bắc-Nam ít nhất là ± 5 m. Độ lệch vị trí theo phương thẳng đứng lên đến ± 10 m.



Hình 4: Độ lệch vị trí theo thời gian khi thu thập trực tiếp từ máy thu GPS

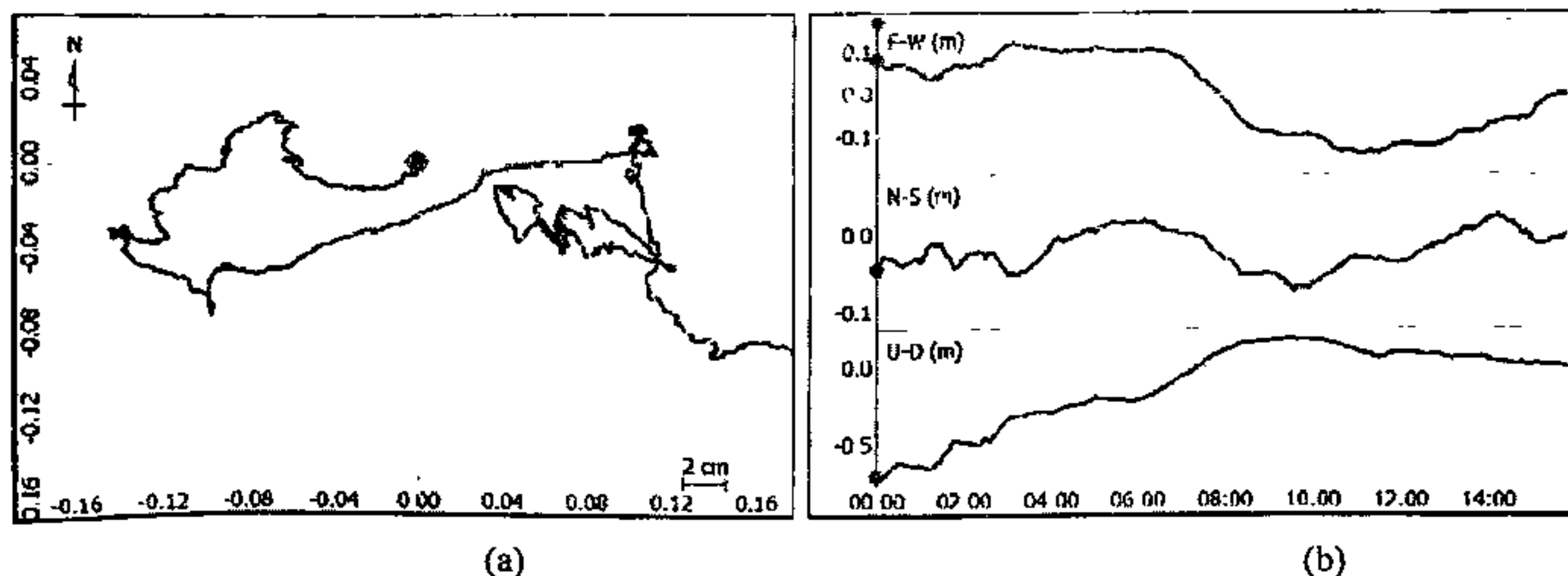
3.1.2 Định vị với chế độ PPP-Static của RTK-LIB

Thí nghiệm này được thực hiện để xác định tọa độ chính xác của một điểm tĩnh nhằm mục đích xác định tọa độ của trạm cơ sở trong điều kiện thiếu thiết bị định vị tọa độ của trạm cơ sở với độ chính xác cao, đồng thời dùng để đánh giá giải thuật định vị chính xác điểm so với cách định vị thông thường của các máy thu GPS giá rẻ.

Trong thí nghiệm này, chương trình Real-Time Positioning (RTKNAVI) của thư viện RTKLIB được sử dụng ở chế độ PPP Static. Dữ liệu từ máy thu GPS NEO-6P và ăng ten ANN-MS-0-005 được thu thập và xử lý thông qua chương trình ứng dụng

RTKNAVI được cài trên laptop (Hình 2b). Dữ liệu được thu thập trong 25 giờ, (từ 11/7/2014-14:45 đến 12/7/2014-15:48 GPST), tổng số mẫu là 87483 mẫu và số vệ tinh nhìn thấy được từ 8 đến 15 vệ tinh.

Phân tích 27152 mẫu dữ liệu sau cùng cho thấy P-Value nhỏ hơn 0.05, giá trị trung bình và độ lệch chuẩn được thể hiện ở Bảng 2. Vị trí trạm cơ sở và độ lệch vị trí theo thời gian trong khoảng thời gian từ 0:00 giờ đến 15:48 GPST ngày 12/7/2014 được thể hiện ở Hình 5. Vị trí đã hội tụ và khoảng dịch chuyển theo các phương tổng hợp từ Hình 5 được trình bày ở Bảng 3.



Hình 5: (a) Vị trí đo và (b) độ lệch vị trí theo thời gian trong thí nghiệm tĩnh với chế độ PPP-Static

Bảng 2: Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của tọa độ trạm cơ sở đo trong thí nghiệm tĩnh

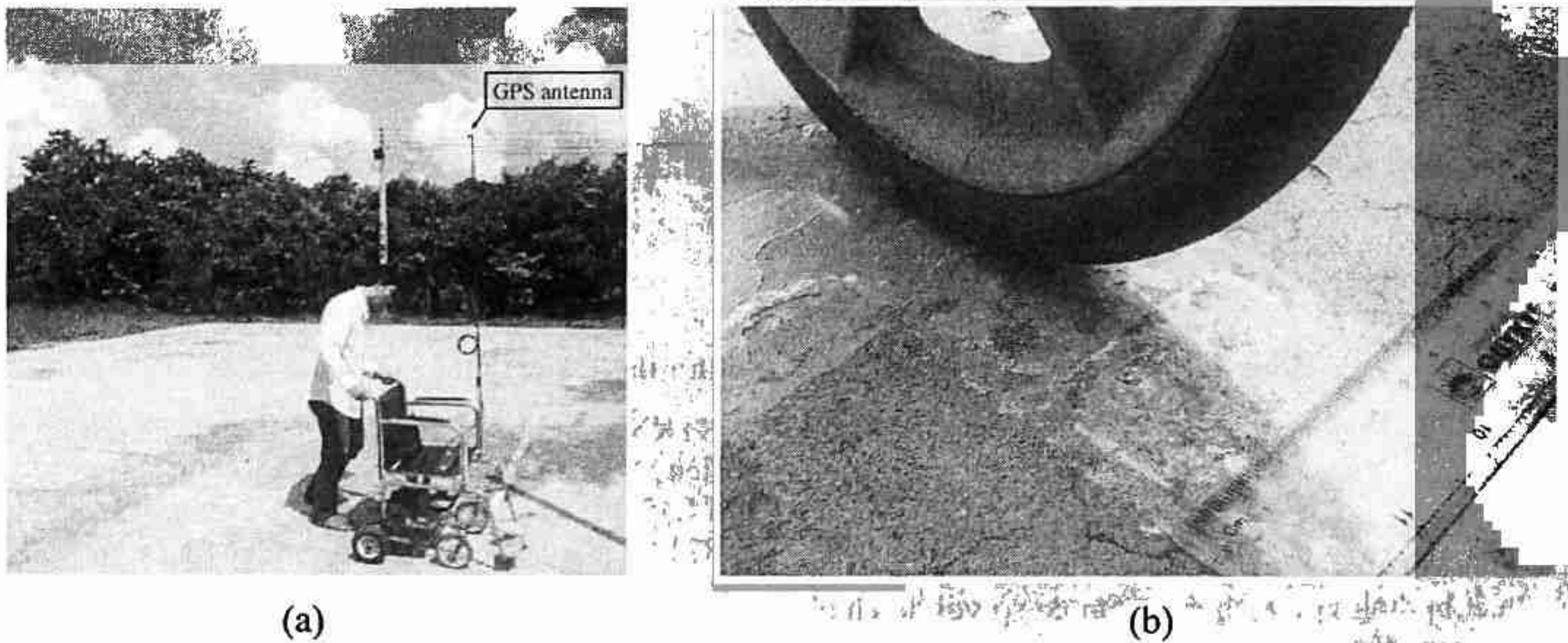
Giá trị	Phương		
	Đông-Tây	Bắc-Nam	Thẳng đứng
Trung bình	105.76720180 ⁰	10.03288687 ⁰	15.2328m
Độ lệch chuẩn	0.00000034 ⁰	0.00000024 ⁰	0.0562m

Bảng 3: Độ lệch của vị trí trạm cơ sở đo trong thí nghiệm tĩnh.

Phương dịch chuyển	Đông-Tây	Bắc-Nam	Thẳng đứng
Khoảng dịch chuyển (mét)	0.28	0.1	0.9

Bảng 4: Độ lệch vị trí trạm động đo ở trạng thái tĩnh trong thí nghiệm động

Phương dịch chuyển	Đông-Tây	Bắc-Nam	Thẳng đứng
Độ lệch vị trí (mét)	0.14	0.09	0.2



Hình 6: (a) Trạm động và địa điểm thí nghiệm. (b) Trạm động trên quỹ đạo

3.2 Thí nghiệm động

Thí nghiệm này nhằm đánh giá khả năng ứng dụng của hệ RTK-GPS sử dụng cả máy thu GPS giá rẻ và ăng ten giá rẻ cho trạm động và trạm cơ sở. Thí nghiệm động được thực hiện ở chế độ Kinematic với hai trường hợp: trạm động đứng yên và di chuyển theo hình vuông. Khoảng cách từ trạm cơ sở tới khu vực thí nghiệm khoảng 100 m.

Thí nghiệm được thiết kế như Hình 6. Trạm động gồm một máy tính laptop cài đặt thư viện RTKLIB để thực hiện thu thập dữ liệu, xử lý và lưu trữ dữ liệu từ máy thu GPS NEO-6P và từ trạm cơ sở gửi qua. Máy tính được đặt trên một xe lăn. Ăng ten và máy thu GPS NEO-6P được gắn trên một trụ cao được gắn cố định vào bên trái của xe lăn sao cho trục của trụ trùng với trục thẳng đứng của bánh xe phía trước bên trái.

Thí nghiệm 1: Trạm động đứng yên

Vị trí trạm động thu thập được sau 10 phút ở trạng thái tĩnh được thể hiện ở Hình 7. Chương

trình tìm được lời giải vị trí là FIX – tính được số bước sóng từ các vệ tinh đến ăng ten – sau 2 phút bắt đầu và tỉ lệ lời giải FIX là 35% (Hình 7b). Khoảng dịch chuyển vị trí trong thí nghiệm này được thể hiện qua Bảng 4.

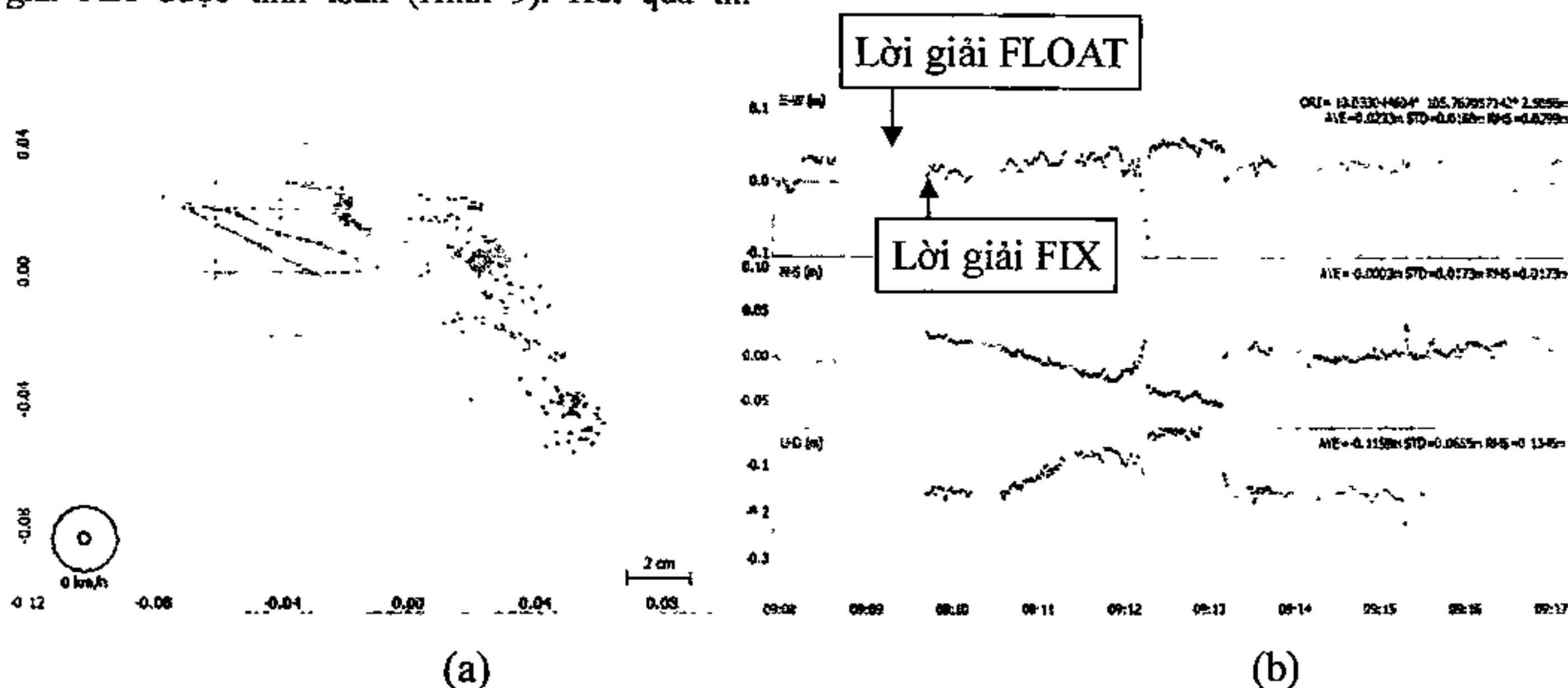
Thí nghiệm 2: Di chuyển theo hình vuông

Trong thí nghiệm này, trạm động sẽ di chuyển bám theo quỹ đạo hình vuông (đường kẻ của sân bóng chuyền) với độ dài cạnh 9 m. Do vị trí X, Y của trạm động trên mặt phẳng ngang trùng với vị trí của bánh xe, quỹ đạo chuyển động của trạm động được đảm bảo bằng cách di chuyển trạm động sao cho bánh xe luôn chuyển động trong giới hạn độ rộng 60 cm của đường kẻ của sân bóng chuyền (Hình 6b). Trạm động được người điều khiển dịch chuyển chậm và đều để trạm động dịch chuyển với tốc độ ổn định nhất có thể. Tốc độ trung bình của trạm động tính toán được bằng phần mềm là 0.2 m/s. Kết quả sau khi trạm động kết thúc 1 vòng và kết thúc 3 vòng di chuyển theo quỹ đạo được lần lượt thể hiện ở Hình 8a và Hình 8b.

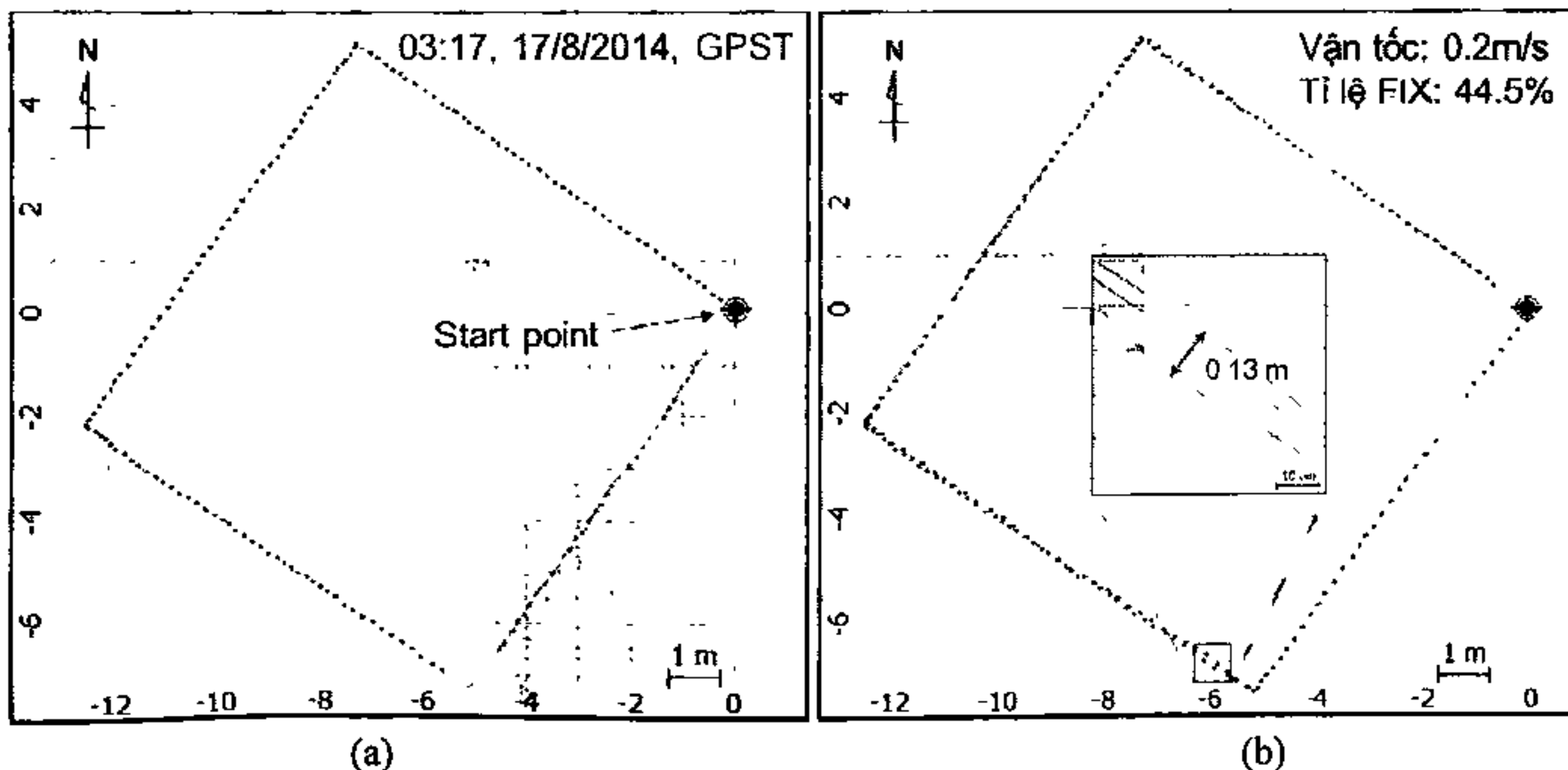
Trong thí nghiệm này, tỉ lệ lời giải Fix là 68.8%, hệ thống có độ chính xác cao và sai số so với đường chuẩn khoảng 0.3 m.

Thí nghiệm được lặp lại vào một ngày khác với việc di chuyển 9 lần bám theo quỹ đạo hình vuông như trước. Ở thí nghiệm trước, thí nghiệm được bắt đầu sau khi có lời giải FIX và vị trí trạm động tính toán được có độ sai lệch nhỏ (Hình 7b). Tuy nhiên, lần thí nghiệm này được bắt đầu sau khi tọa độ trạm động có độ sai lệch nhỏ mặc dù chưa tìm được lời giải FIX. Từ vòng thứ 5, tọa độ với lời giải FIX được tính toán (Hình 9). Kết quả thí

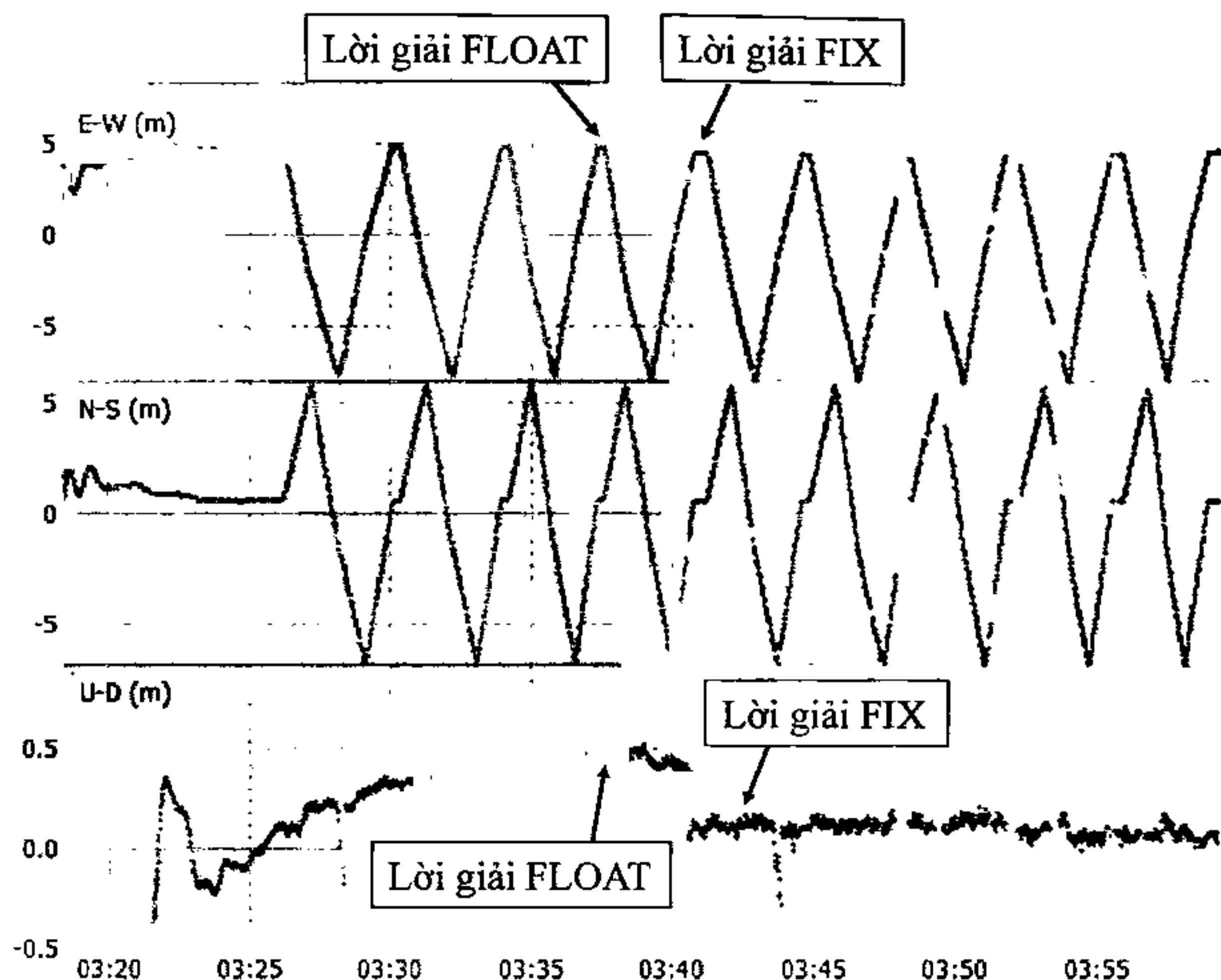
nghiệm ở 4 vòng quỹ đạo đầu với lời giải FLOAT, trạm động vẽ được đường đi hình vuông và 4 quỹ đạo gần như trùng nhau. Năm quỹ đạo hình vuông sau đó của trạm động có các vị trí với lời giải FIX chiếm đa số và các quỹ đạo này cũng gần như trùng nhau. Tuy nhiên, có sự sai lệch giữa đường đi của 4 quỹ đạo đầu (lời giải FLOAT) và 5 quỹ đạo còn lại (lời giải FIX) vào khoảng 0.27 m (Hình 10). Sự khác biệt kết quả giữa lời giải FLOAT và lời giải FIX là do lời giải FLOAT chưa thể tính được chính xác số nguyên lần bước sóng tương ứng với khoảng cách từ vệ tinh đến anten.



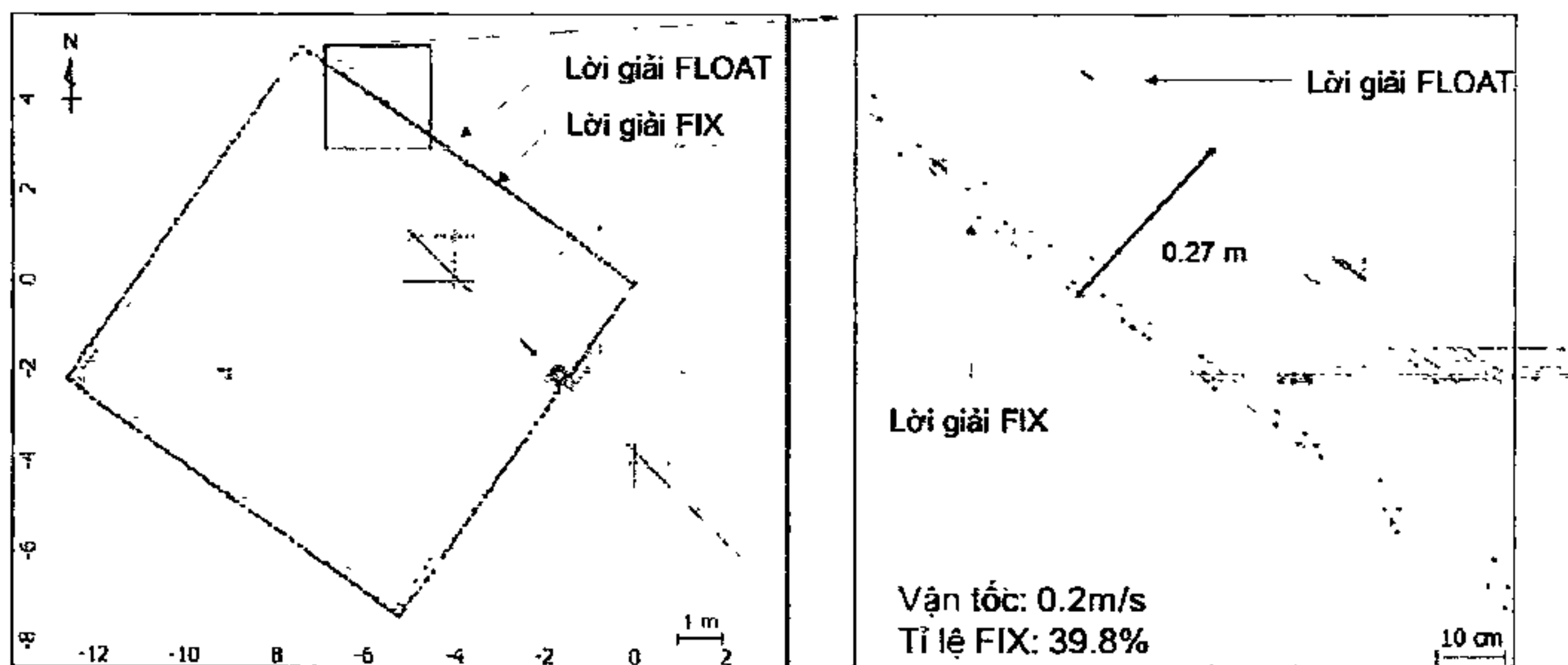
Hình 7: (a) Vị trí và (b) độ lệch vị trí của trạm động ở trạng thái tĩnh theo thời gian trong thí nghiệm động



Hình 8: Vị trí trạm động sau (a) 1 lần và (b) 3 lần di chuyển theo quỹ đạo hình vuông



Hình 9: Vị trí trạm động theo thời gian trong 9 lần di chuyển theo quỹ đạo hình vuông



Hình 10: Vị trí trạm động sau 9 lần di chuyển theo quỹ đạo hình vuông

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Trong nghiên cứu này, một số kỹ thuật định vị được sử dụng đối với máy thu GPS (NEO-6P và LEA-6T) và ăng ten giá rẻ (ANN-MS-0-005) thông qua hai thí nghiệm tĩnh và động. Kết quả thí nghiệm cho thấy kỹ thuật định vị động Real-Time Kinematic GPS có thể được áp dụng để nâng cao

độ chính xác của hệ thống máy thu và ăng ten giá rẻ (chỉ sử dụng tần số L1 và có thể cung cấp dữ liệu thô) so với việc định vị thông thường hay định vị chính xác điểm. Khi áp dụng kỹ thuật RTK-GPS sử dụng phần mềm RTKLIB cùng với việc tự xây dựng trạm cơ sở, độ chính xác trong tính toán vị trí trạm động ở trạng thái tĩnh đạt được khoảng 0.2 m. Thí nghiệm với trạm động di chuyển theo một quỹ

đạo hình vuông định trước cho thấy độ chính xác đạt được khoảng 0.3 m. Sai số của thí nghiệm này một phần cũng do địa điểm thí nghiệm chưa thật sự tốt (tòa nhà cao tầng và cây lớn xung quanh) và vị trí trạm cơ sở chưa thật sự chính xác. Để có thể sớm triển khai sử dụng cho lĩnh vực nông nghiệp chính xác, cần sử dụng một số phương pháp định vị DGPS như sử dụng hệ thống SBAS (Satellite Based Augmentation System) để xác định tọa độ trạm cơ sở chính xác hơn. Ngoài ra cũng cần đánh giá sai số do tốc độ di chuyển của trạm động và khoảng cách giữa trạm động và trạm cơ sở để có thể ứng dụng hệ RTK-GPS giá rẻ ở các cánh đồng mẫu lớn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài khoa học công nghệ cấp Trường, Trường Đại học Cần Thơ (Mã đề tài: T2014-01).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Grisso, R. B., Alley, M. & Heatwole, C. 2009. *Precision Farming Tools: Global Positioning System (GPS)* [Online]. Available at: http://pubs.ext.vt.edu/442/442-503/442-503_pdf.pdf. Accessed 17 July 2014.
2. Jensen, K., Larsen, M., Simonsen, T. & Jørgensen, R. N. 2012. Evaluating the performance of a low-cost GPS in precision agriculture applications. *First International Conference on Robotics and Associated High-Technologies and Equipment for Agriculture*. Pisa, Italy.
3. Layton, A. W., Balmos, A. D., Sabpisa, S., Ault, A., Krogmeier, J. V., Buckmaster, D. 2014. ISOBlue: An Open Source Project to Bring Agricultural Machinery Data into the Cloud. In *2014 ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting*.
4. Takasu, T. 2013a. RTKLIB: An open source program package for GNSS positioning. [Online]. Available at: <http://www.rtklib.com>. Accessed 17 July 2014.
5. Takasu, T. 2013b. IPNTJ Summer School on GNSS, B-1 ~ B-5 - Introduction of RTKLIB Theory of Precise Positioning (1), (2). Available at http://www.gnss-pnt.org/summer_seminar/handouts/takasu1.pdf. Accessed 9 December 2014.
6. Takasu, T. & Yasuda, A. Evaluation of RTK-GPS performance with low-cost single-frequency GPS receivers. *Proceedings of international symposium on GPS/GNSS, 2008*. 852-861.
7. Takasu, T. & Yasuda, A. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. *International Symposium on GPS/GNSS, 2009*. 4-6.
8. Wichayangkoon, B. 2000. *Elements of GPS Precise Point Positioning*. Maine: University of Maine.