

## ỨNG DỤNG KỸ THUẬT INSAR VI PHÂN TRONG QUAN TRẮC BIẾN DẠNG MẶT ĐẤT KHU VỰC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Lê Văn Trung, Hồ Tổng Minh Định

Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 01 tháng 01 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 18 tháng 08 năm 2008)

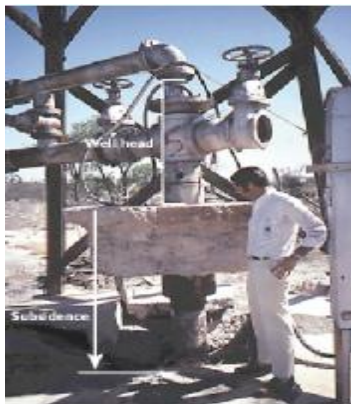
**TÓM TẮT:** Sự giảm mực nước ở các tầng khai thác nước dưới đất, cùng với sự phát triển nhanh các công trình xây dựng trên mặt đất,... đã và đang gây nên sự biến dạng bề mặt địa hình (lún đất) xảy ra tại nhiều nơi trong khu vực TP.HCM. Các biến dạng này đã thể hiện qua các hiện tượng mặt đất xung quanh các giếng khoan bị hạ thấp làm trôi ống chống các giếng khoan tại nhiều điểm khảo sát trên địa bàn thành phố.

Mặc dù các phương pháp thủy chuẩn chính xác và kỹ thuật GPS cho phép cung cấp các trị đo chính xác biến dạng mặt đất, nhưng đòi hỏi tốn kém nhiều về chi phí và thời gian. Bài báo nhằm minh chứng cho khả năng ứng dụng hiệu quả công nghệ vũ trụ trong việc phát hiện sự biến dạng lún mặt đất. Kết quả nghiên cứu ban đầu cho thấy bề mặt địa hình TP. HCM bị lún đáng báo động và kỹ thuật InSAR vi phân là một giải pháp khả thi nhất trong việc phát hiện các biến dạng bề mặt địa hình theo không gian và thời gian.

### 1. GIỚI THIỆU

Tình hình khai thác sử dụng nước ngầm tại TP. Hồ Chí Minh hiện nay đã vượt mức 600.000 m<sup>3</sup>/ngày, trong khi lượng nước bổ cập dưới 200.000 m<sup>3</sup>/ngày dẫn đến tình trạng mực nước dưới đất của các tầng chứa nước ngày càng bị hạ thấp. Sự giảm mực nước ở các tầng khai thác, cùng với sự phát triển nhanh các công trình xây dựng trên mặt đất,... đã gây nên biến dạng bề mặt địa hình (lún đất) xảy ra tại nhiều nơi trong khu vực TP.HCM. Các biến dạng này đã thể hiện qua các hiện tượng mặt đất xung quanh các giếng khoan bị hạ thấp làm trôi ống chống giếng khoan tại nhiều khu vực trên địa bàn thành phố như: quận 6, 11, 12, Bình Tân, và huyện Bình Chánh, Nhà Bè.

**Bảng 1:** Số liệu trôi ống chống giếng khoan tại điểm khảo sát



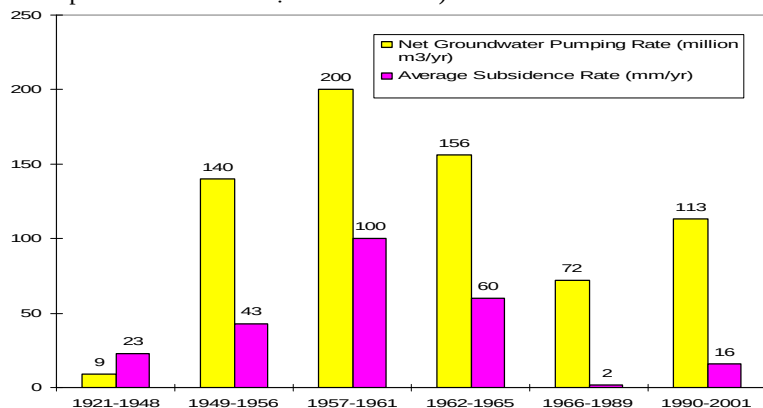
**Hình 1.** Minh họa trôi ống giếng khoan

| STT | Vị trí khảo sát<br>2004-2005      | Độ cao trôi<br>ống chống (cm) |
|-----|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1   | Công ty Bình Tiên-P.10, Quận 6    | 22                            |
| 2   | C.ty cấp nước thành phố –P.11, Q6 | 10                            |
| 3   | C.ty cấp nước thành phố –P.10, Q6 | 11                            |
| 4   | Khu C. nghiệp Tn Tạo (năm 2007)   | 25                            |
| 5   | Trạm quan trắc-Quận Bình Tân      | 22                            |
| 6   | C. ty Nam Long-Quận Bình Tân      | 17,5                          |

Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có công nghệ thích hợp và phương pháp xử lý dữ liệu đo đủ độ chính xác để có thể xác định biến dạng lún theo không gian và thời gian tại TP.HCM, nhằm cung cấp dữ liệu quan trọng cho việc quản lý và quy hoạch khai thác nước ngầm, đánh giá ảnh hưởng lún của TP. HCM phục vụ công tác chống ngập và quy hoạch phát triển đô thị bền vững.

Biến dạng bề mặt đất là một vấn đề thực tế lâu dài, ảnh hưởng nghiêm trọng đến các công trình dân dụng và công nghiệp cũng như môi trường sống. Nhiều nước trên thế giới như: Hoa Kỳ, Úc, Nhật,... đặc biệt là thành phố Thượng Hải (Trung Quốc) và Bangkok (Thái Lan) đã áp dụng thành công việc ứng dụng *công nghệ vũ trụ* để phát hiện mức độ lún của mặt đất (lún cực đại đến 0,6m). Kỹ thuật InSAR vì phân là *một giải pháp khả thi nhất trong việc phát hiện các biến dạng bề mặt địa hình theo không gian và thời gian*, kết quả nhận được từ kỹ thuật này cho phép phân tích nhanh tốc độ lún trung bình hàng năm tại điểm quan sát, xác định vùng và phạm vi lún (diện tích lún và sự phân bố) đồng thời cũng đã tìm thấy có mối quan hệ mật thiết giữa mức độ lún với việc khai thác nước ngầm.

Việc ứng dụng kỹ thuật InSAR vì phân cho phép TP. Thượng Hải đề ra các biện pháp hiệu quả trong việc phân vùng cho phép khai thác, khống chế mức độ khai thác theo không gian và thời gian, nhằm đảm bảo mức độ lún ổn định phục vụ việc phát triển bền vững của thành phố (đến năm 2010 phải đảm bảo mức độ lún 5 mm/năm)



**Hình 2.** Độ lún và lượng khai thác nước ngầm (Tp. Thượng Hải – Trung Quốc)

Đối với Việt Nam, Hà Nội là thành phố đầu tiên tiến hành nghiên cứu lún đất tại 6 trạm quan trắc (Ngọc Hà, Pháp Vân, Thành Công, Lương Yên, Hạ Đình và Mại Dịch) mức độ lún cao nhất của mặt đất tại trạm Thành Công là 0,194m. Tuy nhiên, do áp dụng phương pháp thủy chuẩn hình học truyền thống, nên chi phí khá cao và thời gian đo đạc thường kéo dài. Ngoài ra, kỹ thuật GPS cũng có thể áp dụng, tuy nhiên khả năng theo dõi tức thời, trên diện rộng và theo thời gian của phương pháp này vẫn còn bị nhiều hạn chế.

Radar khẩu độ tổng hợp (SAR - Synthetic Aperture Radar) là một kỹ thuật cho phép thu ảnh với độ phân giải cao từ một anten nhỏ, đây là một kỹ thuật thể hiện sự tiến bộ vượt bậc của xử lý tín hiệu số. Nếu chúng ta có hai ảnh SAR cùng phủ một vùng diện tích hơi khác một chút về vị trí thu nhận, giá trị pha của ảnh này có thể đem đi trừ đi giá trị pha của ảnh kia để có được độ lệch pha của 2 ảnh SAR. Ảnh chứa độ lệch pha này được gọi là ảnh giao thoa. Giá trị còn lại là độ lệch pha từ ảnh này so với ảnh kia. Kỹ thuật dựa trên độ lệch pha để tính toán trên được gọi là kỹ thuật SAR giao thoa (InSAR - SAR Interferometry). Kỹ thuật dựa trên việc loại

bỏ những khoảng giao thoa trùng giữa hai ảnh giao thoa để tạo ra khoảng giao thoa cuối cùng thể hiện sự thay đổi của bề mặt gọi là kỹ thuật InSAR vi phân (Differential InSAR - DInSAR).

Hiện nay, các vệ tinh cung cấp ảnh SAR bao gồm các vệ tinh như ERS-1 và ERS-2, RADARSAT, JERS-1, ALOS, ENVISAT,... Bài báo nhằm giới thiệu khả năng quan trắc biến dạng mặt đất của thành phố Hồ Chí Minh bằng kỹ thuật InSAR vi phân sử dụng ảnh Envisat và ảnh ERS (Earth Resources Satellite), nhằm minh chứng ứng dụng công nghệ vũ trụ là một giải pháp khả thi nhất trong việc phát hiện các biến dạng bề mặt địa hình theo không gian và thời gian.

## 2. PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Ảnh vệ tinh SAR

Dữ liệu sử dụng là ảnh ERS-1 (Earth Resources Satellite-1) và ERS-2 được cung cấp bởi Cơ quan không gian Châu Âu (ESA), hai vệ tinh này được phóng vào quỹ đạo tháng 07/1991 và 04/1995. Mỗi scene ảnh bao phủ một khu vực có bề rộng 100 km<sup>2</sup> với độ phân giải khoảng 30m. Hai vệ tinh này hỗ trợ cho nhau trong việc thu ảnh tại cùng một khu vực chỉ cách nhau 1 ngày. Đây là một ưu điểm nổi bật so với ảnh nhận từ các hệ thống vệ tinh khác do sự tương quan giữa hai ảnh thu được tại một khu vực rất lớn, tạo điều kiện tốt cho các ứng dụng trong giao thoa SAR.

Dữ liệu thử nghiệm thứ hai được sử dụng là ảnh ENVISAT, đây là vệ tinh thám sát trái đất lớn nhất so với các thế hệ trước, được phóng vào quỹ đạo năm 2002. Vệ tinh mang gồm 10 bộ cảm biến quang học và rada, nhằm tiếp tục những sứ mệnh thám sát về bề mặt trái đất, khí quyển, đại dương và băng trôi phục vụ giám sát môi trường và quản lý tài nguyên thiên nhiên. Các bộ cảm biến này cung cấp dữ liệu hữu ích đáp ứng nhu cầu cho nghiên cứu khoa học và các ứng dụng trong thương mại.

ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) là bộ cảm biến SAR lớn nhất, hoạt động ở tần số C-band, được thiết kế nhằm thay thế cho ERS-2. Tuy nhiên, các khả năng về độ bao phủ, góc nhìn, phân cực và kiểu vận hành được cải tiến đáng kể so với ERS-2. Envisat có quỹ đạo đồng bộ mặt trời, độ cao bay 800 km, chu kỳ lặp 35 ngày.

Các mục tiêu chính của Envisat ASAR:

- Cung cấp tiếp khả năng thám sát mặt đất được bắt đầu từ sứ mệnh ERS
- Cải tiến sứ mệnh ERS, tập trung cho sứ mệnh nghiên cứu đại dương và băng trôi
- Mở rộng nhiều tham số thám sát, phục vụ cho nhu cầu nghiên cứu về các tham số tác động môi trường
- Tạo đóng góp quan trọng cho nghiên cứu môi trường, tập trung lĩnh vực hóa khí quyển và đại dương

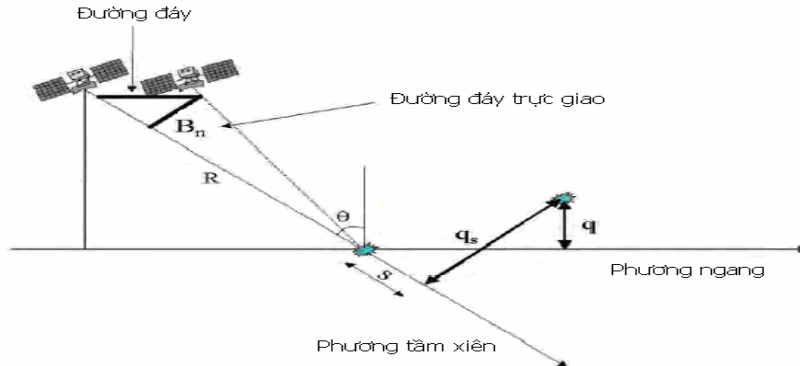


Hình 3. Vệ tinh ENVISAT

Vệ tinh ERS-1

Vệ tinh ERS-2

## 2.2. Kỹ thuật InSAR vi phân



Hình 4. Các tham số hệ thống InSAR

Trong đó:

$B_n$  : Đường dây trực giao

$R$  : Khoảng cách từ bộ cảm biến SAR đến vật thể

$q$  : Độ lệch giữa các đối tượng liền kề theo phương đứng

$\phi$  : Góc tới

Theo kỹ thuật InSAR [2], sau khi xử lý làm phẳng pha (interferogram flattening), ta có giá trị pha giao thoa:

$$\Delta f = -\frac{4p}{l} \frac{B_n q}{R \sin \phi}$$

Trong đó,  $\lambda$  là bước sóng bộ cảm biến SAR

Giả sử trong khoảng thời gian giữa hai lần thu nhận ảnh có một số vị trí trên bề mặt đất bị thay đổi nhỏ (ví dụ: bị lún, bị động đất,...). Trong trường hợp đó, một giá trị pha sau cần được xét đến trong pha giao thoa:

$$\Delta f_d = \frac{4p}{l} d$$

Trong đó,  $d$  là độ lệch thay đổi theo phương tầm xiên

Khi đó, giá trị pha giao thoa bao gồm cả thành phần độ cao và thành phần biến động được viết lại như sau:

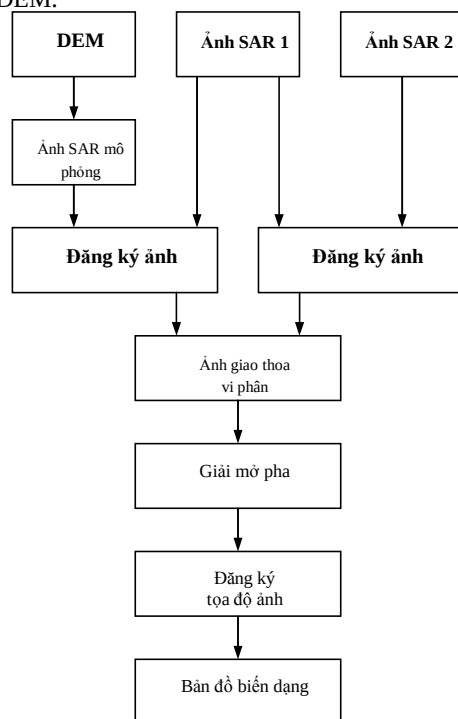
$$\Delta f = -\frac{4p}{l} \frac{B_n q}{R \sin \phi} + \frac{4p}{l} d$$

Để xác định được thành phần biến dạng cho nghiên cứu, chúng ta chỉ cần tách thành phần độ cao trong giá trị pha. Kỹ thuật dựa trên việc loại bỏ thành phần độ cao trong giá trị pha để xác định giá trị giao thoa cuối cùng thể hiện sự thay đổi của bề mặt gọi là kỹ thuật InSAR vi phân (DInSAR – Differential InSAR).

Thành phần độ cao có thể tách ra theo 2 phương pháp:

- Sử dụng mô hình độ cao số DEM, gọi là DInSAR dùng DEM
- Sử dụng thêm một ảnh hay nhiều ảnh SAR khác, gọi là DInSAR đa ảnh.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi dùng kỹ thuật DInSAR dùng DEM. Hình 5 trình bày quy trình xử lý DInSAR dùng DEM.



**Hình 5.** Quy trình xử lý DInSAR dùng DEM

**Bước 1:** Đăng ký ảnh

Dữ liệu DEM được mô phỏng dựa trên thông tin về quỹ đạo của ảnh SAR1, tạo thành ảnh SAR mô phỏng. Sau đó, thực hiện chồng lên nhau và tách ra vùng phủ chung của 3 ảnh. Dữ liệu ảnh cần cho bước xử lý này là ảnh SAR SLC, SLC là dữ liệu ảnh phức bao gồm hai band: band chứa thông tin biên độ và band chứa thông tin pha.

Đăng ký ảnh được thực hiện theo hai bước: đăng ký sơ bộ với độ chính xác 1 pixel và đăng ký chính xác với độ chính xác khoảng 1/8 pixel.

**Bước 2:** Tạo ảnh giao thoa vi phân

Hai ảnh SAR kết hợp tạo ảnh SAR giao thoa phức bao gồm thành phần độ cao và thành phần biến dạng của vật thể. Ảnh giao thoa phức được tạo bằng phép nhân liên hợp mỗi pixel phức của ảnh thứ nhất với cùng pixel phức tương ứng của ảnh thứ hai.

Thực hiện lọc nhiễu và làm phẳng pha cho ảnh giao thoa của ảnh SAR 1 và ảnh SAR 2.

Thành phần độ cao được loại trừ bằng cách thực hiện phép nhân liên hợp mỗi pixel phức của ảnh giao thoa với cùng pixel phức tương ứng của ảnh SAR mô phỏng.

**Bước 3:** Giải mở pha

Khi giao thoa làm mất đi một số nguyên lần chu kỳ trong giá trị pha đo được, nên việc hồi phục chính xác số chu kỳ bị mất rất quan trọng.

Nhiều thuật toán đã được đưa ra để giải quyết vấn đề hồi phục lại giá trị pha, phương pháp phổ biến để giải bài toán mở pha bao gồm: cực tiểu nhỏ nhất, theo bài toán mạng, theo đường đi (Path-following) và năm 1998 Costantini đã biến đổi bài toán mở pha thành bài toán mạng cực tiểu hóa toàn cục. Trong mô hình mạng của Costantini, mỗi vòng xoay theo kim đồng hồ tính tổng giá trị pha gradien của 2x2 pixel xung quanh được mô tả là một node. Node tương ứng với phần dư dương hoặc âm thì được đánh dấu tương ứng + hoặc -. Hai node kề nối nhau tạo thành một arc. Bài toán tối ưu hóa bằng cách dùng phương pháp cực tiểu chi phí dòng mạng (MCF – Minimum Cost Flow) để xác định các ràng buộc cho phép đạt lời giải pha chính xác.

*Bước 4:* Đăng ký tọa độ ảnh và thành lập bản đồ biến dạng

Sau khi giải mở pha, chúng ta chuyển đổi giá trị pha thành giá trị biến dạng để thành lập bản đồ biến dạng. Cuối cùng, bản đồ biến dạng tạo ra được chuyển từ hệ tọa độ của SAR về hệ tọa độ WGS84, múi chiếu 48.

### 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

#### 3.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Hồ Chí Minh là một thành phố lớn vào loại nhất Việt Nam, việc ứng dụng kỹ thuật InSAR vi phân cho bài toán quan trắc biến dạng mặt đất của thành phố là một nhu cầu vô cùng cấp thiết và thực tiễn; nhằm cung cấp thông tin biến dạng một cách chi tiết trên một khu vực mặt đất rộng lớn. Kết quả đạt được không chỉ phục vụ cho việc chống ngập, mà còn góp phần hiệu quả trong công tác quản lý và quy hoạch khai thác nước ngầm; đánh giá ảnh hưởng lún của TP. HCM theo thời gian, để tìm biện pháp giảm thiểu và tiến tới khắc phục biến dạng bề mặt địa hình nhằm góp phần cho sự phát triển đô thị bền vững.

Căn cứ vào thực trạng đô thị hoá, có thể phân TP. HCM thành 3 khu vực [3]:

- *Khu vực đô thị nội đô* : Có quá trình định hình và phát triển hàng trăm năm do vậy hệ thống cơ sở hạ tầng đô thị đã hình thành từ lâu, đang phải chỉnh trang và hiện đại hoá để đáp ứng nhu cầu phát triển. Toàn bộ diện tích đất đều đã được sử dụng, mật độ xây dựng rất cao.

- *Khu vực đô thị mới* : Là khu vực đang trong quá trình đô thị hoá mạnh bao gồm 6 quận mới (quận 2, 7, 9, 12, quận Thủ Đức và quận Bình Tân). Khu vực này đang trong quá trình phát triển lan toả tới nội đô, có tốc độ đô thị hoá rất nhanh, hạ tầng kỹ thuật chưa theo kịp với tốc độ đô thị hoá, quản lý chưa chặt nên phát triển còn mang tính tự phát.

- *Khu vực ngoại thành* : Là khu vực còn nhiều đất nông nghiệp bao gồm các huyện Củ Chi, Hóc Môn, Bình Chánh, Nhà Bè và Cần Giuộc, mật độ dân số thấp, thuận lợi cho việc phát triển khu đô thị mới thành phố.

Đến nay, việc quan trắc và giám sát lún trên địa bàn thành phố chưa được thực hiện một cách có hệ thống cũng như chưa có các nghiên cứu đồng bộ kèm theo, để xác định nguyên nhân chính cho dù đã có những nghiên cứu cho rằng hiện tượng lún tại TP.HCM là do việc khai thác nước ngầm là chủ yếu. Các nghiên cứu và khảo sát lún tại TP.HCM mới chỉ thực hiện ở các điểm có giếng khoan và đã ghi nhận việc trời ống giếng khoan như là một bằng chứng sụt lún bề mặt; cũng như một số quan trắc rời rạc tại một số khu vực có nền đất yếu cho thấy nhà dân bị lún như là một bằng chứng của biến dạng bề mặt do áp lực đè nặng ở các công trình. Ngoài ra, một số các công trình xây dựng quan trọng cũng đã có các quan trắc lún thường xuyên và đã phát hiện mức độ lún đáng báo động. Nhìn chung, những khảo sát và nghiên cứu trên chỉ là cục bộ, chưa theo hệ thống chung nên chưa thể xác định rõ mức độ biến dạng bề mặt đất của cả khu vực TP. HCM.

### 3.2. Kết quả

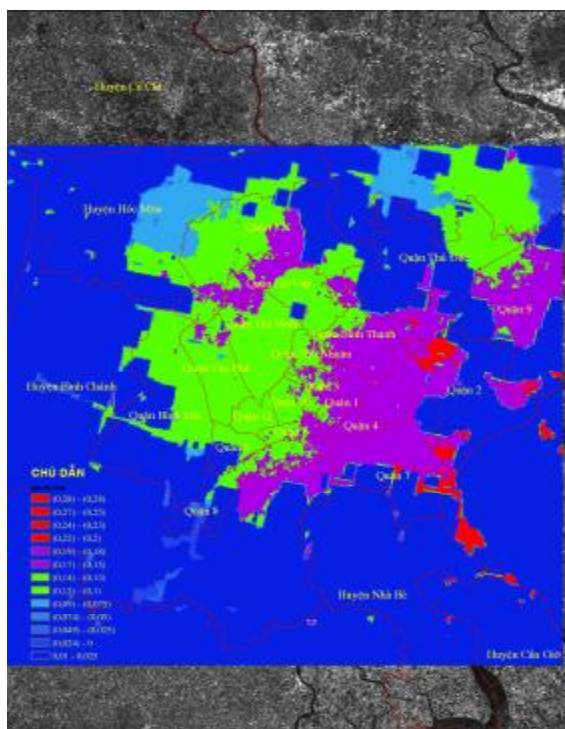
Hai ảnh Envisat ASAR sử dụng được thu nhận tại thời điểm 16/12/2003 và 04/05/2004. Dữ liệu DEM, chúng tôi sử dụng DEM-SRTM được cung cấp bởi NASA [10].

Dữ liệu SAR và DEM được xử lý theo quy trình hình 5. Kết quả xử lý sơ bộ ban đầu theo kỹ thuật DInSAR dùng DEM thể hiện hình 5.

§ Những khu vực biến dạng lún > 20cm : Xây ra tại khu vực đô thị mới - khu vực quận 2, 7, quận Bình Thạnh.

§ Những khu vực biến dạng lún 15cm – 20cm : Khu vực quận 1, 3, 4, 5, 8, 9, 12, quận Gò Vấp, huyện Bình Chánh.

§ Những khu vực biến dạng lún 10cm – 15cm : Khu vực quận 6, 10, 11, quận Tân Bình, quận Tân Phú, quận Phú Nhuận, quận Gò Vấp, quận Bình Tân, quận Thủ Đức, huyện Bình Chánh



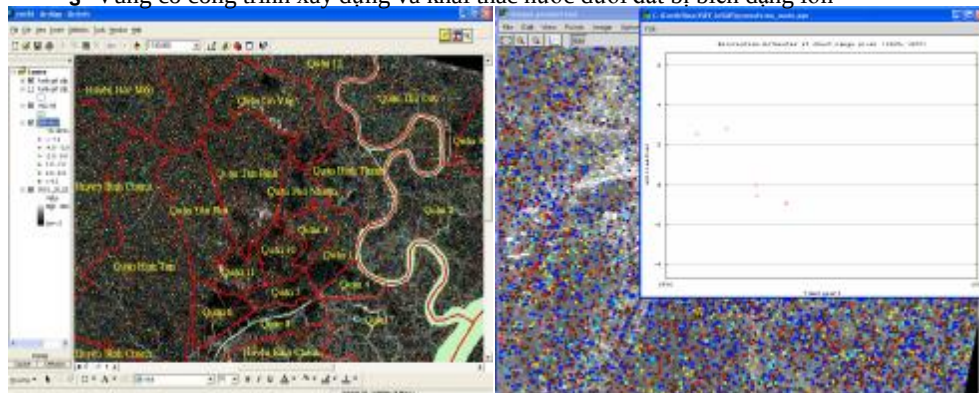


Để nâng cao độ chính xác trong việc xác định biến dạng bề mặt địa hình, nhóm nghiên cứu đã thử nghiệm kỹ thuật xử lý PSInSAR (Permanent Scatterer InSAR), với ảnh ERS được sử dụng. Bằng cách xử lý trên nhiều ảnh SAR khác thời điểm thu nhận, gọi là DInSAR đa ảnh hay xử lý PSInSAR cho trường hợp ảnh ERS. Kết quả xử lý sơ bộ ban đầu với 06 thời điểm thu ảnh (từ 05/02 đến 21/05/1996) theo kỹ thuật PSInSAR được thể hiện bởi hình 7.

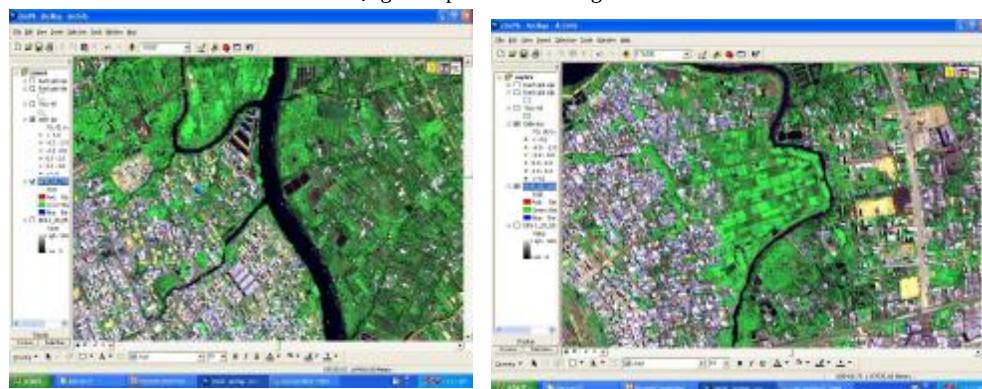
§ Phân tích tại một điểm quan sát, cho thấy tốc độ biến dạng lún theo thời gian < 4mm/năm

§ Khu vực ngoại thành và vùng đất không xây dựng rất ít bị biến dạng.

§ Vùng có công trình xây dựng và khai thác nước dưới đất bị biến dạng lớn



Hình 7. Biến dạng lún Tp. HCM từ tháng 2/1996 đến 05/1996



Hình 8. Quan hệ giữa biến dạng lún với lớp phủ bề mặt đất

Để thể hiện rõ nét vị trí vùng biến dạng và tìm hiểu mối quan hệ giữa biến dạng lún với lớp phủ bề mặt đất, ảnh quang học QuickBird độ phân giải 0,61m được sử dụng tích hợp với GIS để chồng lớp với kết quả phân tích lún (hình 8) để thể hiện mức độ lún với từng đặc trưng.



#### 4. KẾT LUẬN

Việc đô thị hoá và tăng nhanh các khu công nghiệp và dân cư ở khu vực các quận mới, khiến cho việc khai thác nước ngầm và các công trình xây dựng ngày càng tăng, rõ ràng đã có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình biến dạng lún xuống của thành phố. Mặc dù với kết quả sơ bộ ban đầu (cần đầu tư thêm để đánh giá chính xác) nhưng đã cho thấy khả năng có mối quan hệ mật thiết giữa sự đô thị hoá và khai thác nước ngầm với sự biến dạng mặt đất (lún). Ngoài ra, theo nghiên cứu của tổ chức liên quốc gia về biến đổi khí hậu toàn cầu, mực nước biển trung bình đã tăng so với 20 năm trước đây là 10cm. Điều này lý giải vì sau những khu vực của thành phố có địa hình thấp dưới 2m thường bị ảnh hưởng ngập do triều cường.

Kỹ thuật PSInSAR rõ ràng đã mở ra khả năng quan trọng cho việc phát hiện các thông tin biến dạng lún. Kỹ thuật xử lý này đã được ứng dụng thành công tại TP. Thượng Hải và đã kết luận rằng đây là kỹ thuật duy nhất hiện nay có thể giám sát biến dạng lún của bề mặt trái đất trên một khu vực diện tích lớn một cách nhanh chóng, ít chi phí, hiệu quả, không phụ thuộc ngày đêm và thời tiết.

Do đó, việc đầu tư nghiên cứu, ứng dụng công nghệ vũ trụ cho bài toán lún của thành phố là một nhu cầu vô cùng cấp thiết và thực tiễn. Nếu được triển khai nhanh sẽ mang lại những đánh giá chính xác hơn về biến dạng bề mặt đất; sẽ cho phép phân tích biến dạng lún theo từng năm, phạm vi và diện tích lún, phát hiện mức độ lún của mặt đất (lún xuống hay trồi lên của mặt đất với độ chính xác cao) tốc độ lún trung bình hàng năm, xác định quy luật của sự phân bố vùng lún trên địa bàn thành phố.

#### MEASURING GROUND SUBSIDENCE IN HO CHI MINH CITY USING DIFFERENTIAL INSAR TECHNIQUES

Le Van Trung, Ho Tong Minh Dinh  
University of Technology, VNU-HCM

**ABSTRACT:** *The water table has been constantly lowering and the urbanization has been rapidly developing during the last decades,... due to the strong groundwater extraction has led to the subsidence of some areas in the Ho Chi Minh city. Land deformation at the rate of few centimetres per year can be measured at the heavy ground water pumping stations.*

*Most existing techniques for monitoring ground subsidence base on using methods of precise leveling, and more recently the GPS. These methods are generally expensive and inefficient for monitoring large areas. Besides, sparsely distributed data points are often insufficient to provide information on every localized ground subsidence.*

*Recent advances in the SAR interferometry, especially with the Differential SAR Interferometry is an appropriate satellite remote sensing technique to map subsidence in urban areas at high accuracy and low costs.*

*Results demonstrate the effectiveness of employing the PSInSAR technique for land subsidence monitoring in the Ho Chi Minh city, and this method has enabled a long-term study of vertical land movements using SAR images.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Lê Văn Trung, Hồ Tổng Minh Định và Văn Công Quốc Anh. *The Ability of Application of ERS SAR images in Generating DEM using InSAR technique*. The 16th APEC Workshop on Ocean Models and Information System for the APEC Region. (2005).
- [2].Hồ Tổng Minh Định. *Ứng dụng kỹ thuật InSAR trong xây dựng mô hình độ cao số (DEM)*. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại Học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh, (2005).
- [3].Trần Thị Thu Lương, *Nghiên cứu thực trạng và giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý sử dụng đất trong khu vực đô thị hóa của thành phố Hồ Chí Minh*, Tp. Hồ Chí Minh (2007).
- [4].Lee, I., H.-C. Chang, and L. Ge. *GPS Campaigns for Validation of InSAR Derived DEMs*. in GNSS 2004. Sydney, Australia: 6-8 December.p. 99-106.
- [5].Chen, C. W. *Statistical-Cost Network-Flow Approaches to Two-Dimensional Phase Unwrapping for Radar Interferometry*. Stanford University. (2001).
- [6].Ge, L., and E. Cheng, X. Li, C. Rizos. *Quantitative Subsidence Monitoring: The Intergrated InSAR, GPS and GIS Approach*. The 6<sup>th</sup> International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services. (2003).
- [7].Charles Werner, Urs Wegmüller Andreas Wiesmann, and Tazio Strozzi. *Interferometric Point Target Analysis with JERS-1 L-band SAR Data*, IGARSS'03. (2003).
- [8].Damoah-Afari P., Ding X.L. *Measuring Ground Subsidence in Shanghai using Permanent Scatterer InSAR technique*. The 26th Asian Conference on Remote Sensing. (2005).
- [9].Chen, Y.Q., G.B. Zhang, X.L. Ding, and Z.L. Li. *Monitoring Earth Surface Deformations with InSAR Technology: Principle and Some critical Issue*. Journal of Geospatial Engineering, 2(1): 3-21. (2000).
- [10].<http://www-radar.jpl.nasa.gov/srtm/>