



TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI
BÁO CÁO NGHIÊN CỨU KHOA HỌC SINH VIÊN

Giải pháp kết hợp GNSS và Cảm biến nghiêng
trong quan trắc công trình dân dụng và công nghiệp

Giảng viên hướng dẫn
TS.DươngThànhTrung

Được trình bày bởi
Phạm Ngọc Lãm
Đinh Quang Hải
Vũ Minh Hoàng
Trần Minh Đại
Cao Ngọc Hoàng



MỤC LỤC

1. CHƯƠNG 1: NGUYÊN NHÂN, CÁC YẾU TỐ GÂY BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH
2. CHƯƠNG 2: NGHIÊN CỨU VỀ CÔNG NGHỆ GNSS RTK
3. CHƯƠNG 3 : TÌM HIỂU VỀ CẢM BIẾN NGHIÊNG VÀ KẾT HỢP GNSS VÀ CẢM BIẾN NGHIÊNG TRONG QUAN TRẮC CÔNG TRÌNH
4. CHƯƠNG 4 : THỰC NGHIỆM





CHƯƠNG 1: NGUYÊN NHÂN, CÁC YẾU TỐ GÂY BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH





1. Khái niệm biến dạng công trình

Biến dạng công trình là hiện tượng thay đổi hình học hoặc kích thước của một bộ phận kết cấu hoặc toàn bộ công trình dưới tác động của các yếu tố bên ngoài như tải trọng, điều kiện khí hậu, địa chất hoặc nội lực phát sinh trong quá trình sử dụng.

Biến dạng có thể biểu hiện ở nhiều dạng khác nhau như lún, nghiêng, nứt nẻ, võng, xoắn hay cong vênh và có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng chịu lực, độ bền và tính ổn định của công trình.

2. NGUYÊN NHÂN, YẾU TỐ GÂY BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH

Biến dạng công trình là kết quả của sự tương tác phức tạp giữa nhiều yếu tố khác nhau, có thể chia thành hai nhóm chính là các yếu tố khách quan và chủ quan. Yếu tố khách quan chủ yếu bao gồm các điều kiện tự nhiên như địa chất, thủy văn, khí hậu và các tác động động lực học từ môi trường. Trong khi đó, yếu tố chủ quan là hệ quả của các sai sót trong công tác khảo sát, thiết kế, thi công hoặc trong quá trình sử dụng và bảo trì công trình.

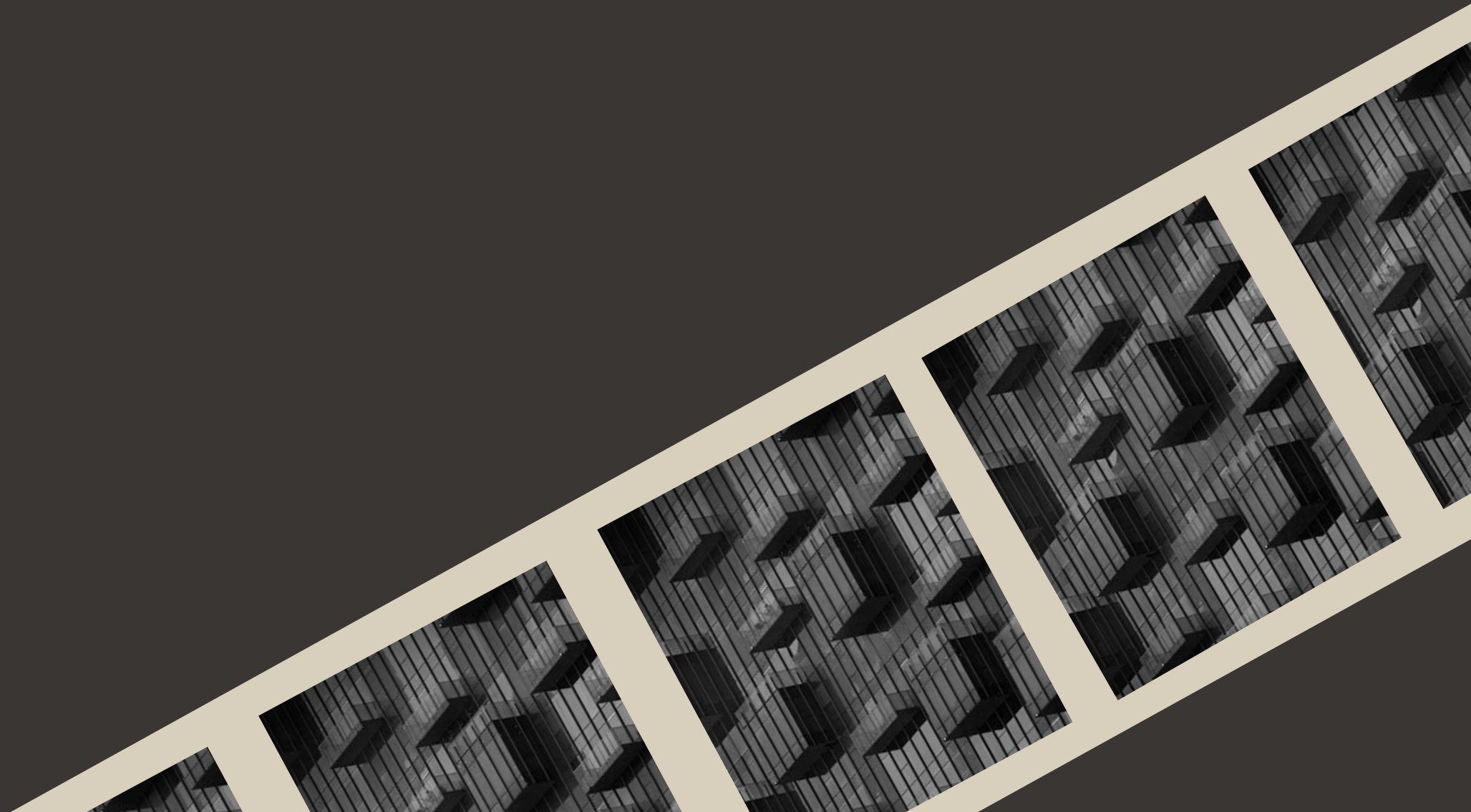
Về mặt cơ học, lực tác dụng lên công trình đóng vai trò cốt lõi trong việc tạo ra biến dạng.

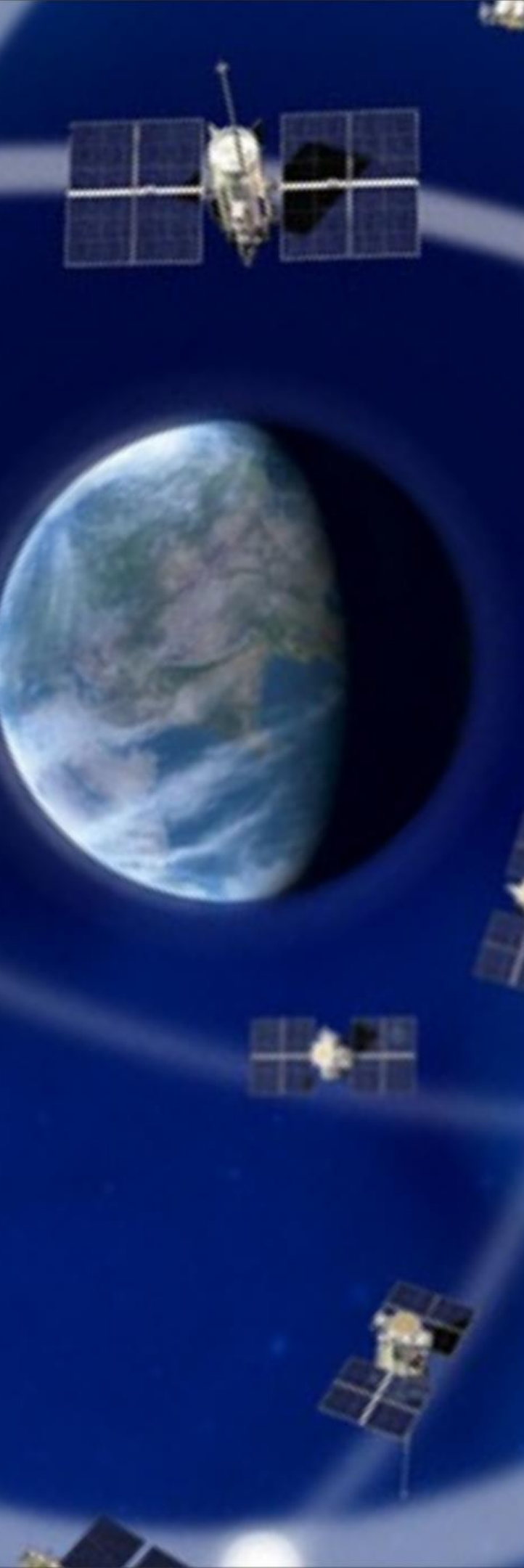
Về phía bản thân công trình, vật liệu xây dựng là một yếu tố rất quan trọng. Mỗi loại vật liệu như bê tông, gạch, thép hay đá đều có giới hạn chịu lực, hệ số giãn nở nhiệt và khả năng chống biến dạng riêng





CHƯƠNG 2: NGHIÊN CỨU VỀ CÔNG NGHỆ GNSS RTK



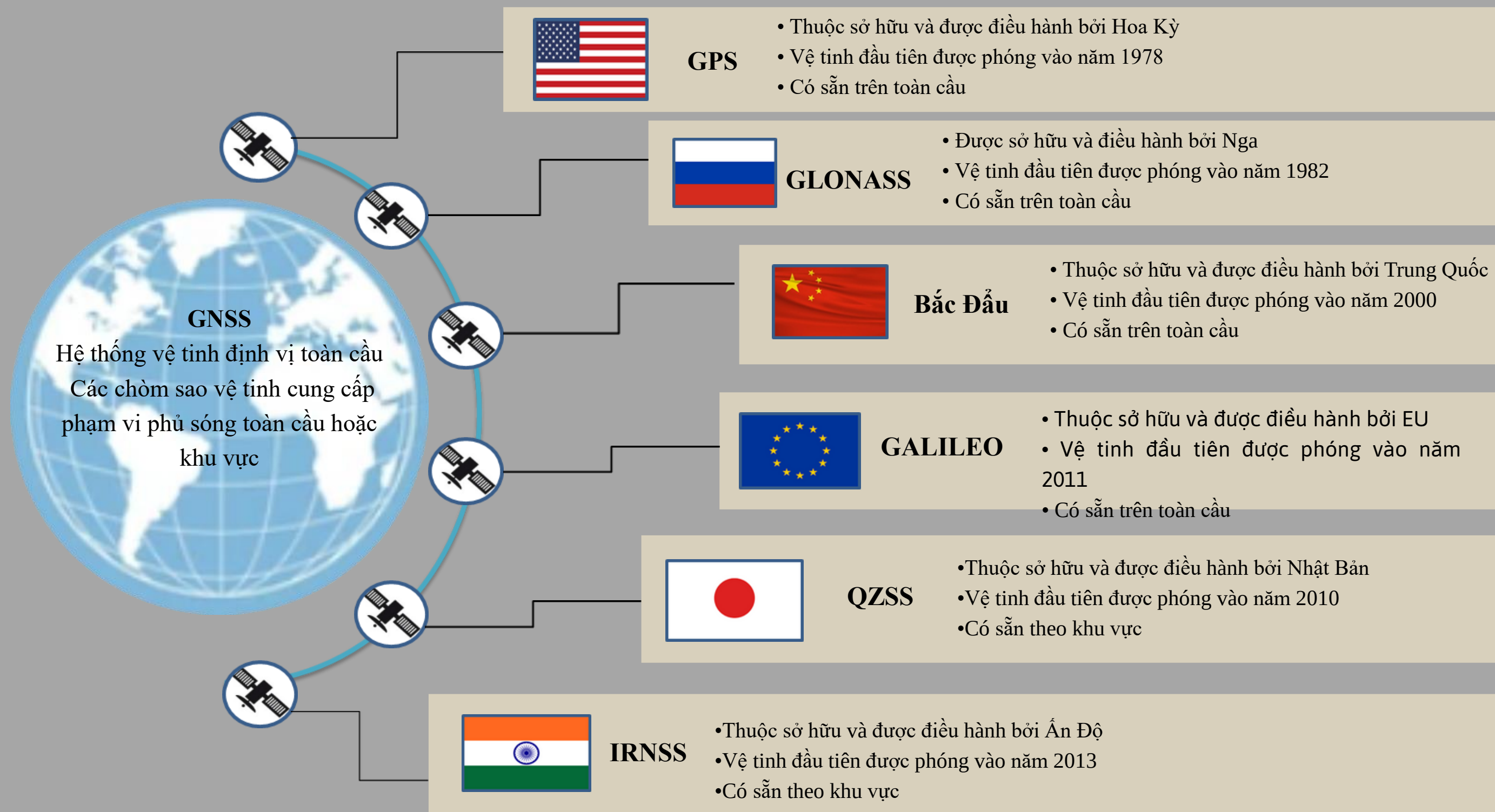


1:GNSS

1.1: Khái niệm

GNSS (Global Navigation Satellite System) là hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu. Có thể hiểu đơn giản rằng, hệ thống định vị GNSS là tập hợp tất cả các vệ tinh nhân tạo có trên quỹ đạo bên ngoài Trái Đất, di chuyển liên tục xung quanh địa cầu. Hệ thống định vị vệ tinh này giúp xác định vị trí của các đối tượng trên mặt đất và định vị chính xác theo tọa độ.

Hiện nay, trên thế giới có các hệ thống vệ tinh đang ở ngoài không gian và truyền tín hiệu đến các bộ thu tại trái đất như:



2.RTK

1.1 Khái niệm

RTK (Real – Time Kinematic) là một công nghệ định vị toàn cầu tiên tiến, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng đo đạc, định vị và định vị động. RTK sử dụng hệ thống định vị toàn cầu (GNSS) để cung cấp độ chính xác cao và thông tin về vị trí trong thời gian thực.



3: CÁC THÀNH PHẦN TẠO NÊN HỆ THỐNG GNSS

- Phân đoạn không gian mô tả các chòm sao GNSS quay quanh quỹ đạo từ 20.000 đến 37.000 km so với mặt đất. Các vệ tinh này phát tín hiệu xác định vệ tinh nào đang truyền và thời gian, quỹ đạo và trạng thái sức khỏe của hệ thống.
- Phân đoạn điều khiển là mạng lưới các trạm điều khiển chính, tải dữ liệu và giám sát nằm trên khắp thế giới.
- Phân khúc người dùng bao gồm thiết bị nhận tín hiệu vệ tinh và đưa ra vị trí dựa trên thời gian và vị trí quỹ đạo của ít nhất bốn vệ tinh. Phân khúc này bao gồm ăng-ten của người dùng để xác định và nhận tín hiệu chất lượng tốt cũng như bộ thu có độ chính xác cao và động cơ định vị xử lý tín hiệu và giải quyết các lỗi thời gian tiềm ẩn.

4: CÁC TIÊU CHÍ KHI ĐO GNSS VÀ NHỮNG YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA GNSS

a. Có bốn tiêu chí được sử dụng khi đo dữ liệu GNSS để xác định hiệu suất của hệ thống.

- Độ chính xác – sự khác biệt giữa vị trí, tốc độ và thời gian đo được của máy thu GNSS và vị trí, tốc độ và thời gian thực tế của vật thể.

- Tính khả dụng – phần trăm thời gian GNSS khả dụng.

- Tính liên tục – khả năng của hệ thống thực hiện chức năng cần thiết trong suốt quá trình hoạt động mà không bị gián đoạn.

Tính toàn vẹn – thước đo mức độ tin cậy mà người dùng có thể đặt vào dữ liệu GNSS. Điều này bao gồm khả năng cảnh báo người dùng của hệ thống khi hệ thống không hoạt động đúng.

6: GPS

GPS là viết tắt của cụm từ Global Positioning System (hệ thống định vị toàn cầu), là hệ thống xác định vị trí dựa trên vị trí của các vệ tinh nhân tạo, do Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ phát triển, vận hành và quản lý.

Hệ thống GPS gồm có các thành phần sau:

Đoạn không gian: Được thiết lập bởi 27 vệ tinh hoạt động và 3 vệ tinh dự phòng. Các vệ tinh này chuyển động ổn định và trong khoảng 24h quay được 2 vòng quanh quỹ đạo. Năng lượng mặt trời và nguồn pin dự phòng sẽ cung cấp năng lượng để các vệ tinh hoạt động.

Đoạn kiểm soát: Gồm có 5 trạm kiểm soát (một trạm kiểm soát trung tâm + 4 trạm hoạt động tự động). Các trạm này sẽ làm nhiệm vụ kiểm soát vệ tinh đi đúng hướng theo quỹ đạo và thông tin thời gian chính xác.

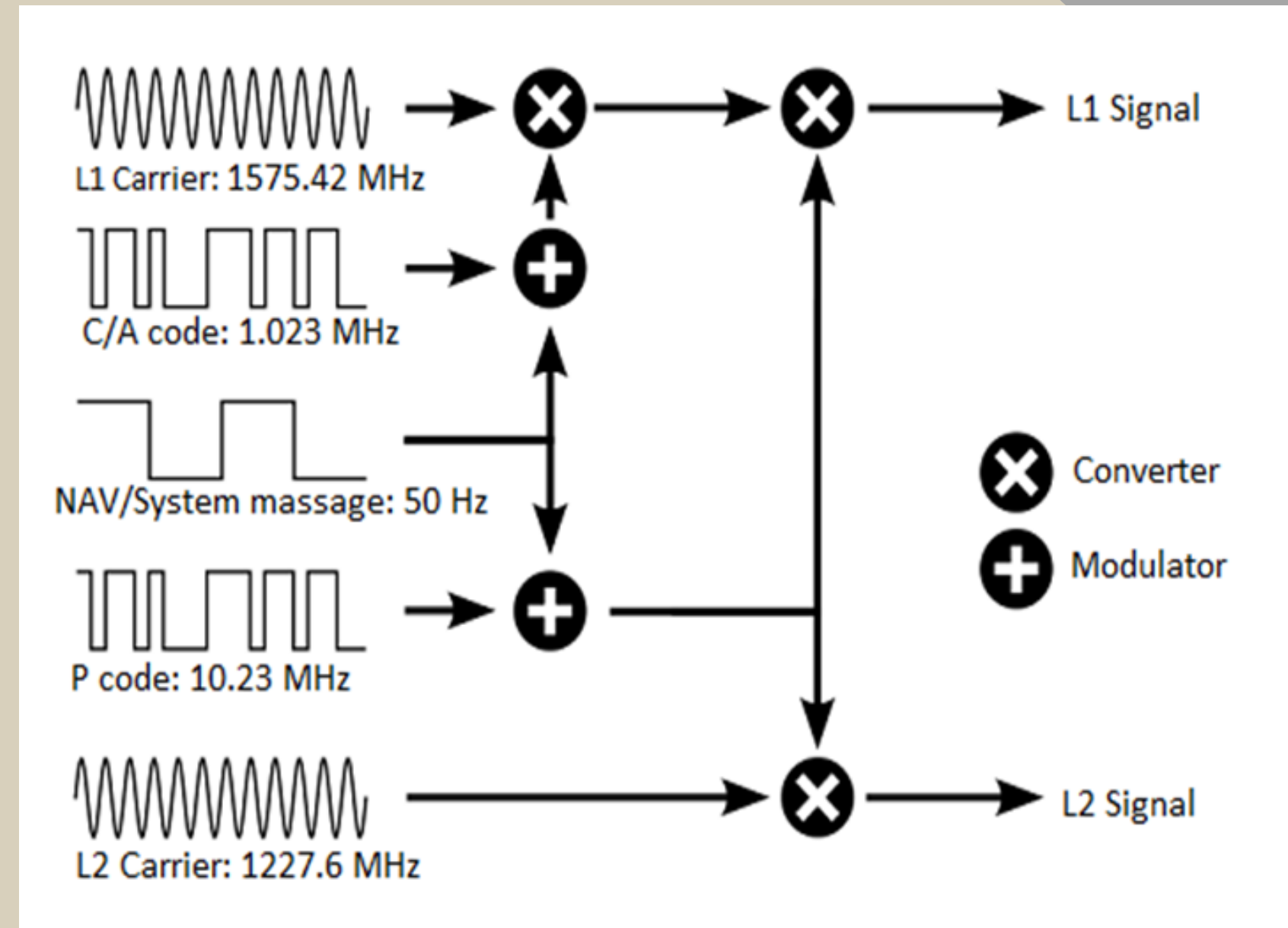
Đoạn sử dụng: Là thiết bị nhận tín hiệu vệ tinh GPS và người đang sử dụng thiết bị này.

Ta có 2 sóng mang L1: 1575.42 MHz , L2: 1227.6 MHz và 3 tín hiệu bổ sung chồng lên nhau là C/A Code (Coarse acquisition), NAV/ Sytem Data, P–Code (Precision code).

C/A code: đây là thông tin mà người nhận nhận được để có được ý tưởng ban đầu về vị trí của chúng ta (thường sử dụng cho mục đích dân sự).

P Code: mã này cho phép người nhận nhận tín hiệu, sau đó để đưa ra kết quả thành kết quả chính xác hơn (Thường sử dụng cho mục đích quân sự). P Code có thể truyền tín hiệu đến cả L1, L2 thông qua bộ chuyển đổi.

Ngoài ra, còn có dữ liệu hệ thống định vị (Navigation system data) là hệ thống dẫn đường được truyền với tần số rất thấp là 50 Hz. Lưu ý rằng dữ liệu này được trộn vào cả tín hiệu L1 và L2, nghĩa là dữ liệu định vị được phát ra trên cả hai kênh. Mã C/A chỉ được trộn với sóng mang để phát ra trên L1, còn mã P thì được trộn và phát ra trên cả L1 và L2.





Ứng dụng của GNSS

- Định vị và dẫn đường (ô tô, hàng hải, hàng không, đi bộ)
- Trắc địa và khảo sát (RTK GNSS cho độ chính xác cm)
- Nông nghiệp chính xác
- Đồng bộ thời gian trong viễn thông, lưới điện
- Quản lý đội xe, logistics, IoT



CHƯƠNG 3: CẢM BIẾN NGHIÊNG

Cảm biến nghiêng (tiếng Anh: tilt sensor hoặc inclinometer) là một thiết bị dùng để đo góc nghiêng của một vật thể so với phương ngang hoặc phương thẳng đứng. Thiết bị này phát hiện sự thay đổi vị trí góc của vật thể khi nó bị nghiêng hoặc xoay, và thường sử dụng trọng lực hoặc cảm biến quán tính để xác định độ nghiêng

Cảm biến nghiêng có các chức năng chính như sau:

1. Đo góc nghiêng của vật thể
2. Giám sát độ nghiêng trong thời gian thực
3. Hỗ trợ định vị và đo đạc chính xác
4. Tự động điều khiển máy móc
5. Bảo đảm an toàn và thiết bị công trình



THỰC NGHIỆM

1. Nội dung và khối lượng các công việc đã thực hiện

STT	Nội dung công việc	Số điểm khảo sát	Thời gian thực hiện
1	Khảo sát tình trạng các vết nứt		Từ: Đến
2	Khảo sát, đánh giá độ nghiêng, độ lún tương đối của tòa nhà	01 điểm	Từ: 24/08/2024 Đến: 10/9/2024
3	Khảo sát độ lún tuyệt đối của tòa nhà	02 điểm	Từ: 16/8/2024 Đến 10/9/2024
4	Tổng hợp và viết báo cáo		11/09/2024



THỰC NGHIỆM

2. Nội dung công việc

Căn cứ theo điều kiện thực tế của công trình, theo ý kiến của chủ đầu tư và nhằm đảm bảo cho công việc khảo sát, xác định độ lún, nghiêng các vị trí của tòa nhà, phản ánh được thực chất hiện trạng lún, nghiêng của công trình chúng tôi đã tiến hành những công việc sau :

2.1 Xác định và đánh dấu các điểm nứt trong và ngoài tòa nhà

- Căn cứ theo đề cương, biện pháp thi công đã được duyệt, đơn vị thi công tiến hành xác định và đánh dấu vị trí các điểm có vết nứt trong tòa nhà.
- Mỗi vết nứt được đánh dấu điểm đầu và điểm cuối kèm ghi chú ngày đánh dấu. Lắp đặt thước theo dõi vết nứt hai chiều chuyên dụng tại 11 điểm có vết nứt.
- Tiến hành theo dõi, ghi chép và chụp hình với tần suất 1 lần/tuần
- Chi tiết xác định các điểm khảo sát vết nứt được trình bày ở Phụ lục theo dõi vết nứt đính kèm.



THỰC NGHIỆM

2.2 Đo độ lún, nghiêng tại các vị trí của tòa nhà:

2.2.1 Trang thiết bị sử dụng

Thiết bị đo đặc là máy đo nghiêng hai trục độ chính xác cao của hãng MAS, có thể đo tự động liên tục. Hình ảnh thiết bị được thể hiện ở hình 2.2.1. Thông số kỹ thuật được thể hiện ở bảng 2.2.1. Các giấy tờ nhập khẩu và kiểm định của thiết bị được đính kèm trong phụ lục 1.



Hình 2.2.1: Thiết bị đo nghiêng



THỰC NGHIỆM

Bảng 2.2.1: Thông số kỹ thuật máy đo nghiêng

MAS-PCA826T		Condition	Parameter				Unit
Measuring range			±5	±10	±30	±60	°
Measuring axis			Dual Axis	Dual Axis	Dual Axis	Dual Axis	
Resolution			0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	°
Accuracy	Maximum absolute error (MAXE)	Room temperature	0.003	0.005	0.01	0.01	°
	Root mean square error (RMSE)	Room temperature	0.001	0.002	0.003	0.005	°
Zero temperature coefficient		-40~85℃	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	° /℃
Sensitivity temperature coefficient		-40~85℃	≤50	≤50	≤50	≤50	ppm/℃
Power-on start time			<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	S
Response frequency			20	20	20	20	Hz
Output rate		5Hz, 10Hz, 25Hz, 35Hz, 50Hz, 100Hz configurable					
output signal		RS485/RS232/RS422 optional					
Electromagnetic compatibility		According to EN61000 and GBT17626					
Mean time between failures (MTBF)		≥98000 hours/time					
Insulation resistance		≥100 megohm					
Shock resistance		100g@11ms, triaxial (half sine wave)					
Vibration resistance		10grms, 10~ 1000Hz					
waterproof level		IP67					
Cable		Standard 1 meter length, wear-resistant, wide temperature range, shielded cable, aviation connector, weight ≤ 150g					
weight		≤400g (excluding cable)					



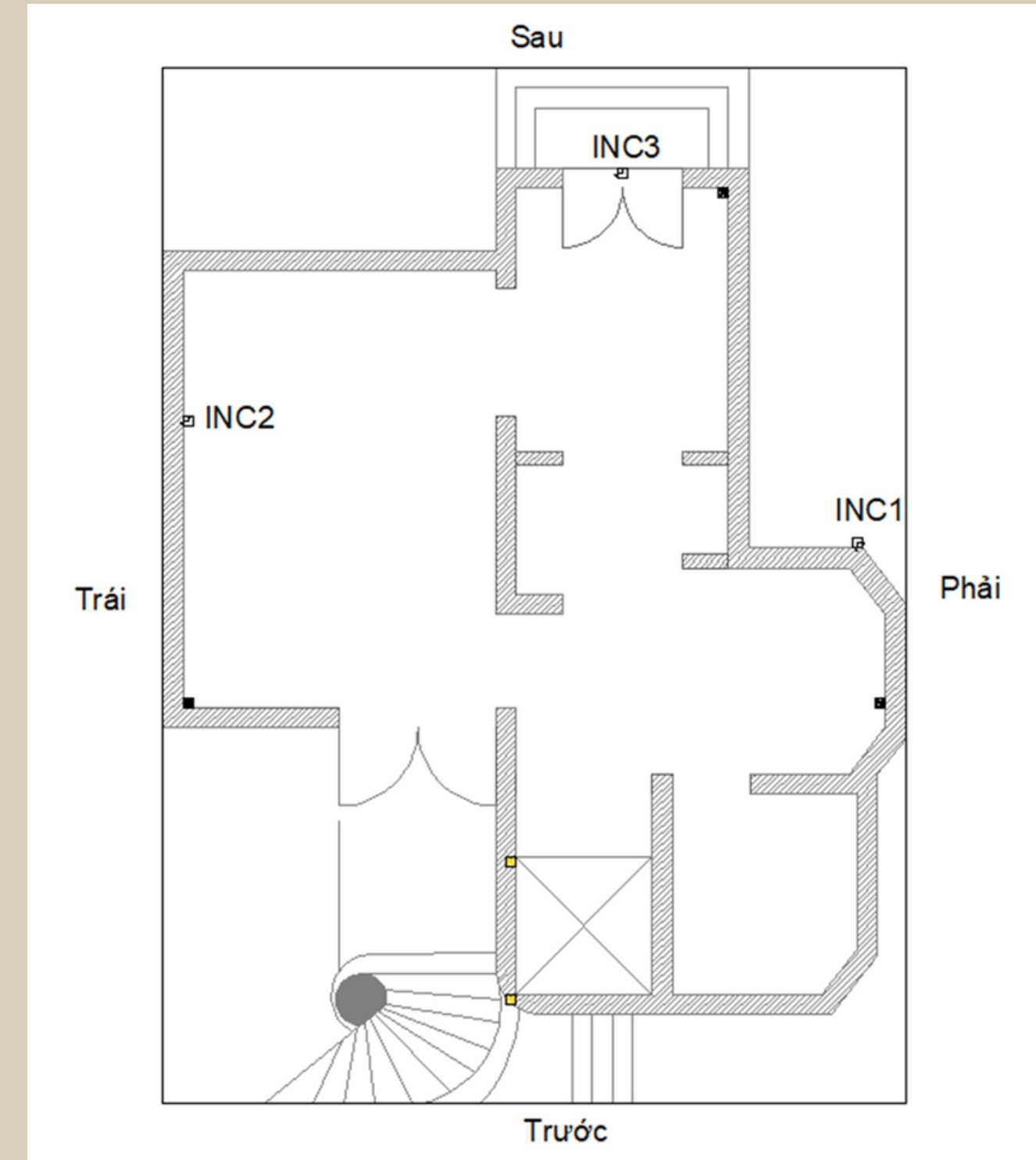
THỰC NGHIỆM

2.2.2 Vị trí lắp đặt

- Các cảm biến được lắp đặt tại các vị trí như hình 2.2.2 a
- Các cảm biến được lắp đặt tại vị trí cao nhất của toàn nhà.
- Hình ảnh lắp đặt các cảm biến tại công trình Hình 2.2.2 b



Hình 2.2.2 b: Các cảm biến lắp đặt tại hiện trường

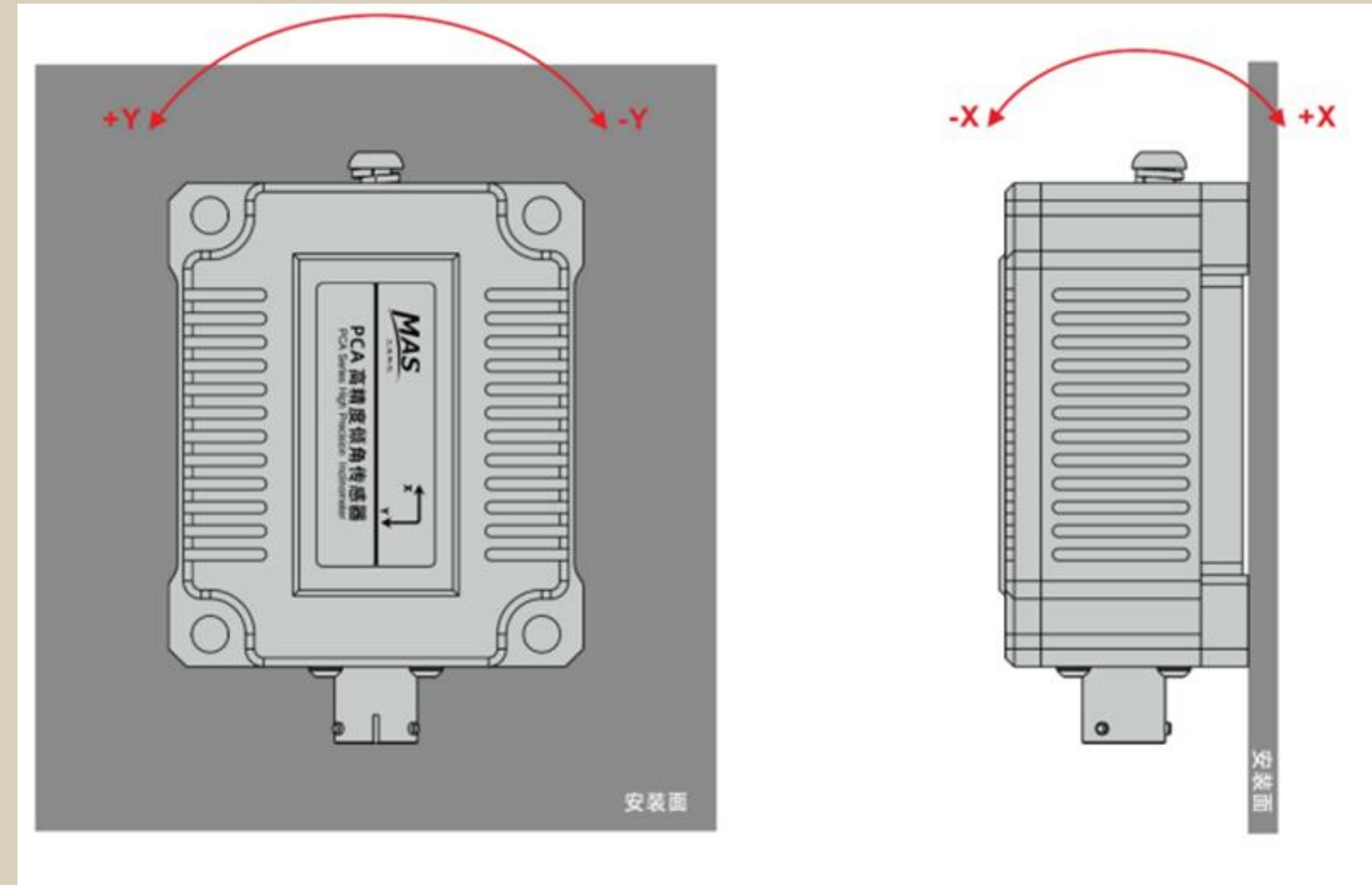


Hình 2.2.2 a: Sơ đồ lắp đặt cảm biến nghiêng

THỰC NGHIỆM

2.2.3 Quy trình đo đạc

- Lắp đặt cố định các cảm biến nghiêng vào tường sao cho các trục đo của thiết bị song song với trục cần quan trắc của công trình (Hình 2.2.3).
- Tại chu kỳ “0” set cảm biến về “0”
- Kết nối thiết bị với Datalogger để tiến hành thu thập dữ liệu
- Lưu trữ dữ liệu đo theo ngày để báo cáo.



Hình 2.2.3: Sơ đồ các trục cảm biến

THỰC NGHIỆM

2.2.4 Tính toán số liệu đo

1.2.1 Tính toán số liệu đo

- Số liệu đo đạc được lưu trữ của mỗi cảm biến bao gồm thời gian, độ nghiêng theo trục X và Y như Bảng 2.2.2

- Tính toán độ chuyển vị ngang

$D_x = H \cdot \sin(X)$

$D_y = H \cdot \sin(Y)$

Trong đó H là độ cao lắp đặt cảm biến tính từ móng tòa nhà. Với vị trí lắp đặt cảm biến thực tế, H=25m

Bảng 2.2.2: Mẫu số liệu đo nghiêng

[C1]Time	[C2]INC1Data	
	X(độ)	Y(độ)
8/24/2024	-0.002	0.0002
8/25/2024	-0.0016	-0.0001
8/26/2024	-0.0017	0.0001

THỰC NGHIỆM

2.2.5 Kết quả đo đạc và tính toán

- Kết quả đo đạc độ nghiêng được thể hiện ở bảng 2.2.3
- Kết quả tính toán chuyển vị được thể hiện dòng 15 của bảng 2.2.3
- Đồ thị độ nghiêng được thể hiện ở các hình Hình 2.2.5, 2.2.6 và 2.2.7

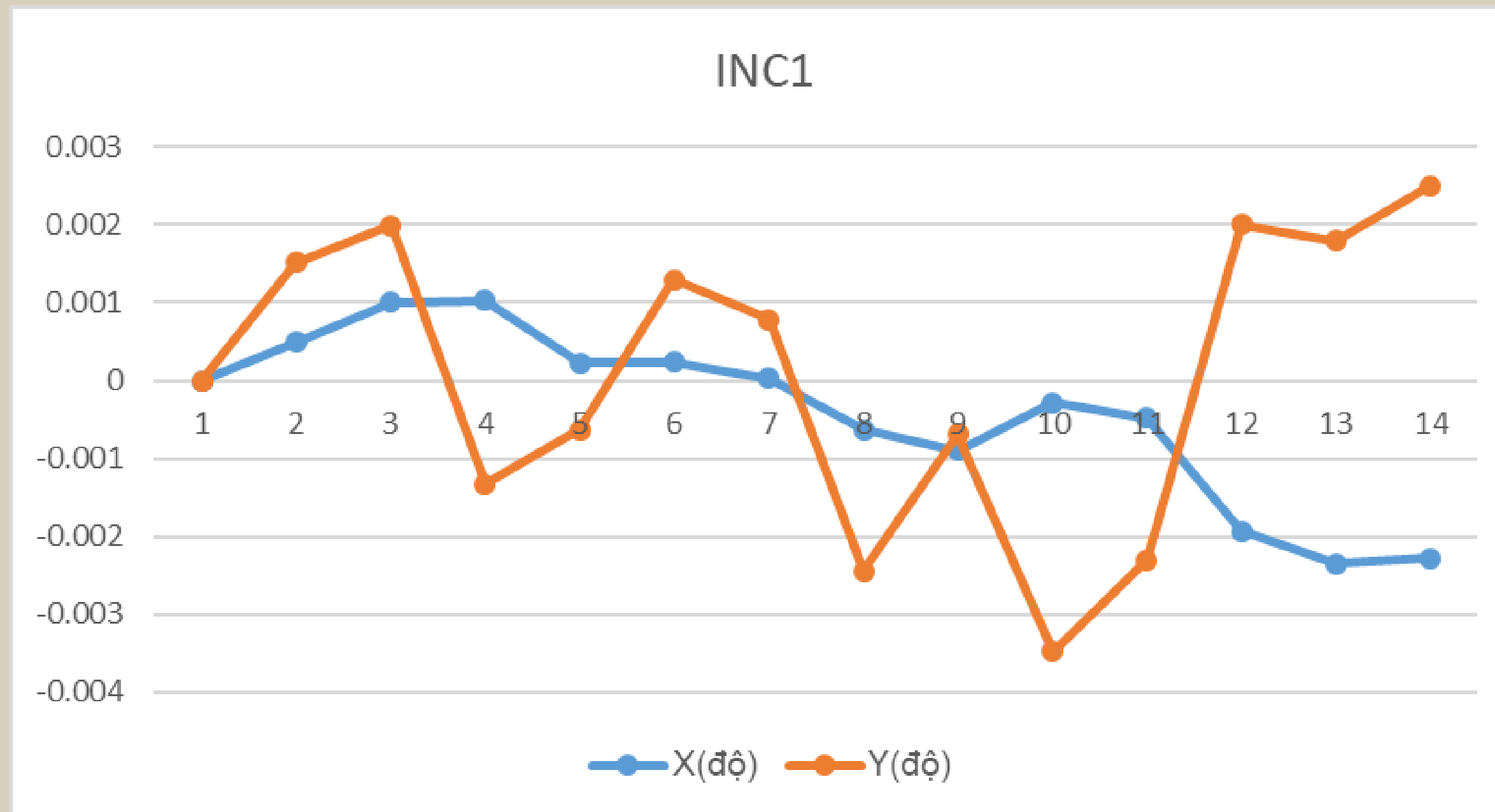


THỰC NGHIỆM

STT	Time	INC1Data		INC2Data		INC3Data	
		X(độ)	Y(độ)	X(độ)	Y(độ)	X(độ)	Y(độ)
1	23 thg 8, 2024	0	0	0	0	0	0
2	24 thg 8, 2024	50	152	-5	4	4	-6
3	25 thg 8, 2024	100	199	4	42	-3	-16
4	29 thg 8, 2024	103	-133	21	-3	-5	16
5	30 thg 8, 2024	22	-63	17	9	4	9
6	31 thg 8, 2024	24	129	-10	10	7	-11
7	1 thg 9, 2024	3	79	10	10	9	2
8	2 thg 9, 2024	-64	-245	29	18	12	29
9	3 thg 9, 2024	-90	-69	16	11	9	12
10	4 thg 9, 2024	-28	-348	44	13	9	36
11	5 thg 9, 2024	-48	-230	222	18	1	218
12	8 thg 9, 2024	-193	200	-80	32	26	-9
13	9 thg 9, 2024	-235	180	-10	34	28	-11
14	10 thg 9, 2024	-228	250	-67	41	31	-69
15	Chuyển vị (m)	-1	1	-3	2	1	-3

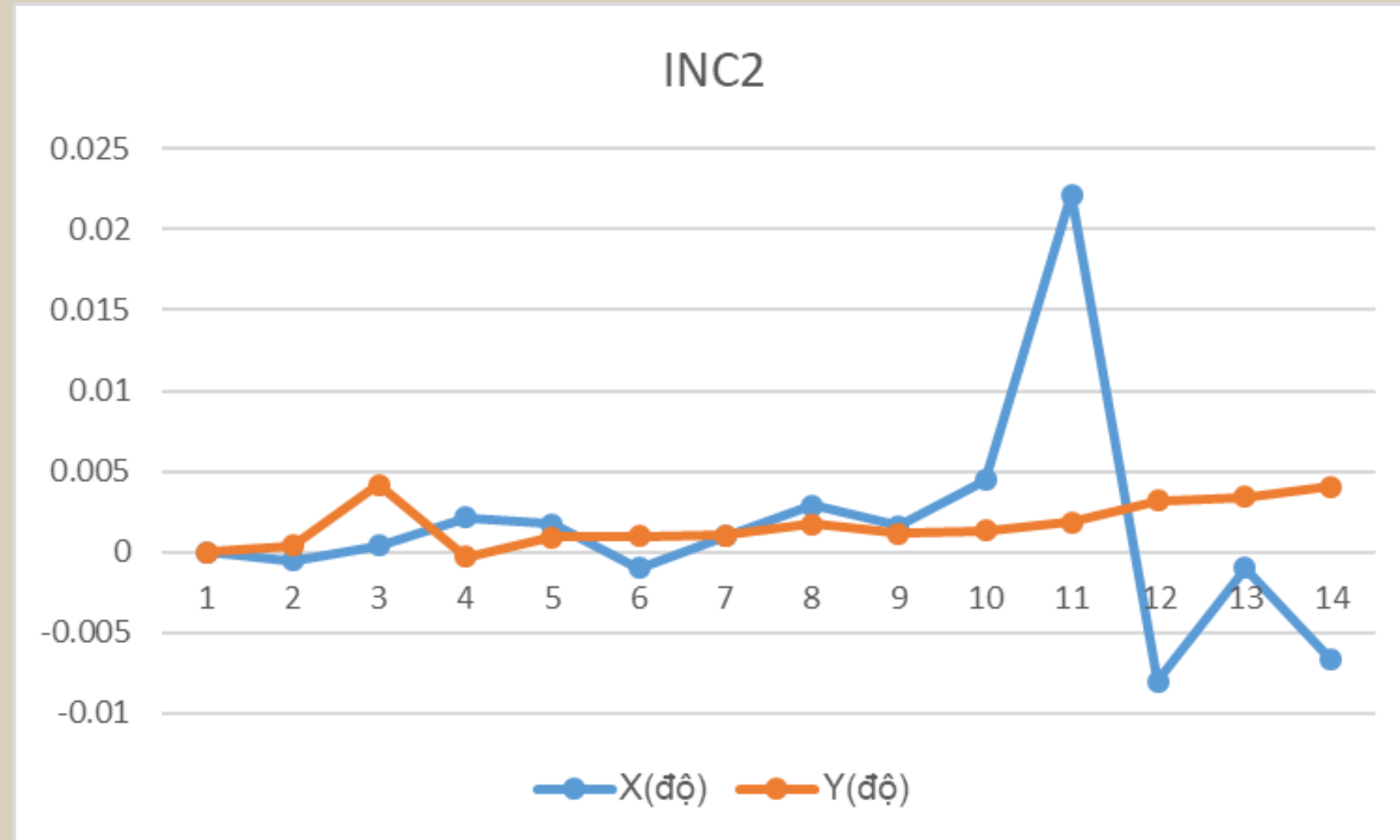
Bảng 2.2.3: Kết quả đo nghiêng theo thời gian

THỰC NGHIỆM



Hình 2.2.5: Đồ thị nghiêng tại cảm biến INC1

THỰC NGHIỆM



Hình 2.2.6: Đồ thị nghiêng tại cảm biến INC2



CHƯƠNG 4: Kết hợp GNSS và cảm biến nghiên trong quản trắc công trình

1. Bình sai số liệu GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

1.1. Cơ sở toán học của bình sai bình phương nhỏ nhất

Phương pháp bình sai phổ biến nhất được sử dụng trong quan trắc là bình phương nhỏ nhất (Least Squares Adjustment). Phương pháp này dựa trên nguyên lý: tổng bình phương sai số giữa giá trị đo được và giá trị tính toán là nhỏ nhất.

Giả sử ta có hệ phương trình quan sát:

$$L = A \cdot X + v$$

Trong đó :

L: Vector trị đo (Số liệu đo đạc từ GNSS hoặc cảm biến nghiêng)

A: Ma trận hệ số (Ma trận đạo hàm riêng theo các ẩn số)

X: vector ẩn số cần xác định (tọa độ, góc nghiêng, dịch chuyển...)

v: vector sai số dư (residuals)



1. Bình sai số GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

1.1. Cơ sở toán học của bình sai bình phương nhỏ nhất

Mục tiêu của bình sai là tìm X sao cho:

Trong đó:

P: Là ma trận trọng số (đánh giá độ tin cậy của các trị đo)

Giải bằng công thức bình phương nhỏ nhất chuẩn:

Sau đó tính sai số dư:

$$\hat{X} = L - A \cdot X^{\wedge}$$



1. Bình sai số liệu GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

1.2. Bình sai số liệu cảm biến nghiêng

Dữ liệu cảm biến nghiêng là chuỗi các giá trị góc nghiêng theo thời gian (thường theo trục X và Y). Nếu ta biểu diễn góc nghiêng tại thời điểm t là:

$$\theta_t = \theta_0 + \Delta\theta_t + \varepsilon_t$$

Trong đó :

- θ_0 : góc nghiêng ban đầu
- $\Delta\theta_t$: thay đổi thực sự (nghiêng do biến dạng)
- ε_t : sai số ngẫu nhiên

Áp dụng bình sai tuyến tính để xác định $\Delta\theta_t$ loại bỏ nhiễu tạm thời, lọc số liệu bằng các thuật toán như bộ lọc Kalman hoặc bình phương trượt (moving least squares) nhằm:

- Làm mượt dữ liệu nghiêng
- Phát hiện xu hướng nghiêng tăng dần
- Cảnh báo khi vượt ngưỡng nghiêng cho phép



3. Bình sai số liệu GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

3.4. Kết hợp kết quả bình sai GNSS và cảm biến nghiêng

Sau khi bình sai riêng rẽ, có thể kết hợp hai bộ số liệu để đối chiếu và xác nhận dịch chuyển thực tế của công trình. Ví dụ:

Nếu GNSS ghi nhận dịch chuyển về phía Đông 3 mm, và cảm biến nghiêng ghi nhận nghiêng về phía Đông, điều này xác nhận xu hướng biến dạng là thực.

Ngược lại, nếu số liệu nghiêng thay đổi nhưng GNSS không ghi nhận dịch chuyển → có thể là rung động tạm thời hoặc sai số cảm biến.

Việc kết hợp này cho phép tăng cường độ tin cậy và độ chính xác trong đánh giá biến dạng, đặc biệt trong các công trình lớn, đòi hỏi giám sát chặt chẽ.



4. Đánh giá và triển vọng ứng dụng của giải pháp kết hợp GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

4.1. Đánh giá hiệu quả của phương pháp

Tuy nhiên, phương pháp này cũng tồn tại một số hạn chế:

- Chi phí đầu tư ban đầu tương đối cao do cần đồng bộ nhiều thiết bị, phần mềm xử lý và truyền dẫn dữ liệu.
- Yêu cầu về kỹ thuật hiệu chuẩn, cấu hình hệ thống và xử lý bình sai cao hơn so với các phương pháp truyền thống.
- Độ chính xác phụ thuộc vào điều kiện môi trường như: tín hiệu vệ tinh (GNSS), rung động môi trường (cảm biến nghiêng)...

4. Đánh giá và triển vọng ứng dụng của giải pháp kết hợp GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

4.2. Triển vọng ứng dụng trong tương lai

- Quan trắc công trình lớn và có yêu cầu an toàn cao
- Giám sát sụt lún và trượt lở địa chất
- Tích hợp vào hệ thống quản lý thông minh (Smart Monitoring Systems)
- Ứng dụng trong nghiên cứu khoa học và đào tạo

4. Đánh giá và triển vọng ứng dụng của giải pháp kết hợp GNSS và cảm biến nghiêng trong quan trắc công trình

4.3. Kiến nghị và định hướng phát triển

Để mở rộng và phát huy tối đa hiệu quả của phương pháp, nhóm nghiên cứu kiến nghị:

- Tiếp tục hoàn thiện quy trình chuẩn cho việc lắp đặt, hiệu chỉnh và xử lý số liệu.
- Tích hợp công nghệ truyền dẫn không dây để giám sát từ xa.
- Xây dựng phần mềm bình sai chuyên dụng có thể xử lý đồng thời dữ liệu GNSS và cảm biến nghiêng.
- Tổ chức các đợt đào tạo, phổ biến kiến thức và hướng dẫn sử dụng thiết bị trong ngành trắc địa, xây dựng và địa kỹ thuật.

KẾT LUẬN

Giải pháp kết hợp giữa công nghệ GNSS và cảm biến nghiêng đã chứng minh tính hiệu quả trong việc nâng cao độ chính xác, khả năng giám sát liên tục và phát hiện sớm những biểu hiện bất thường của công trình.

Thông qua việc nghiên cứu nguyên lý, quy trình kết hợp và phương pháp bình sai số liệu, đề tài đã làm rõ tính khả thi và lợi ích thực tiễn khi áp dụng đồng thời hai công nghệ này trong công tác quan trắc biến dạng. Kết quả từ GNSS giúp theo dõi dịch chuyển tuyệt đối trong không gian 3 chiều, trong khi cảm biến nghiêng phát hiện những thay đổi nhỏ về góc nghiêng – từ đó bổ trợ và kiểm chứng lẫn nhau, góp phần tăng cường độ tin cậy của toàn bộ hệ thống quan trắc.

Mặc dù vẫn tồn tại một số khó khăn như chi phí đầu tư, yêu cầu kỹ thuật cao và ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường, nhưng với sự phát triển mạnh mẽ của các công nghệ truyền dẫn không dây, trí tuệ nhân tạo và tự động hóa, giải pháp kết hợp GNSS – cảm biến nghiêng hứa hẹn sẽ trở thành xu hướng chủ đạo trong quan trắc thông minh các công trình hiện đại.