

PHẦN 1. KIẾN THỨC CHUNG VỀ TRẮC ĐỊA

MỞ ĐẦU

1. Khái niệm về trắc địa

Theo tiếng Hy Lạp thì thuật ngữ " Trắc địa" có nghĩa là sự " phân chia đất đai ". Với ý nghĩa đó, chứng tỏ trắc địa đã ra đời từ rất sớm.

Sự phát triển của nền sản xuất xã hội đòi hỏi Trắc địa ngày càng phải đề cập đến nhiều vấn đề, khái niệm " Trắc địa " cũng vì thế có nghĩa rộng hơn. *Có thể hiểu "trắc địa" là môn khoa học về các phương pháp, phương tiện đo đạc và xử lý số liệu nhằm xác định hình dạng kích thước trái đất; thành lập thành lập bản đồ, bình đồ, mặt cắt địa hình phục vụ xây dựng các công trình kỹ thuật, đáp ứng yêu cầu của các ngành kinh tế quốc dân và quốc phòng.*

Để thực hiện nhiệm vụ của mình, Trắc địa phải tiến hành đo đạc mặt đất. Công tác đo đạc thực chất quy về đo một số các yếu tố cơ bản như: góc, cạnh, chiều cao.... Với mục đích đo đạc hiệu quả và chính xác, trắc địa đã nghiên cứu ứng dụng các phương pháp trong đo đạc.

Quá trình đo luôn tồn tại các sai số ảnh hưởng tới độ chính xác kết quả đo. Để nhận được các trị đo xác suất nhất và biểu diễn chúng dưới dạng bản đồ, bình đồ và mặt cắt địa hình thì cần phải xử lý số liệu đo. Kiến thức trắc địa cùng với toán học, xác suất thống kê, tin học là những công cụ quan trọng để thực hiện việc xử lý số liệu.

Phương tiện đo là một trong những điều kiện quan trọng để đo đạc chính xác và hiệu quả. Với sự phát triển mạnh mẽ của các ngành khoa học như quang học, cơ khí chính xác, điện tử, tin học đã chế tạo ra các thiết bị đo hiện đại như toàn đạc điện tử, thủy chuẩn điện tử, máy định vị GPS. Máy móc, thiết bị đo đạc hiện đại cùng với công nghệ tiên tiến thực sự là cuộc cách mạng sâu rộng của ngành Trắc địa, mở ra khả năng không chỉ nghiên cứu đo đạc trên bề mặt trái đất, dưới lòng đại dương mà còn không gian ngoài trái đất.

2. Các chuyên ngành trắc địa

Tùy theo đối tượng, quy mô và phương pháp nghiên cứu khác nhau mà trắc địa được chia thành các chuyên ngành khác nhau.

Trắc địa cao cấp có phạm vi nghiên cứu rộng lớn mang tính toàn cầu hoặc quốc gia. Nhiệm vụ của trắc địa cao cấp là xác định hình dạng, kích thước, trường trọng lực trái đất; xây dựng hệ thống khống chế Nhà nước với độ chính xác cao làm cơ sở trắc địa Quốc gia; nghiên cứu khoa học, nghiên cứu biến dạng vỏ trái đất. Trắc địa cao cấp còn bao gồm cả trắc địa vệ tinh nghiên cứu đo đạc không gian ngoài mặt đất và trắc địa biển.

Trắc địa địa hình có nhiệm vụ nghiên cứu quy trình công nghệ đo vẽ bản đồ địa hình mặt đất dùng trong các ngành điều tra, xây dựng cơ bản và quốc phòng.

Trắc địa ảnh cũng có nhiệm vụ nghiên cứu đo vẽ bản đồ địa hình, nhưng tiến hành bằng cách chụp ảnh mặt đất bằng các máy ảnh đặc biệt từ máy bay, vệ tinh hoặc ngay tại mặt đất; sau đó xử lý các tấm ảnh chụp được để thành lập bản đồ.

Trắc địa công trình là trắc địa ứng dụng trong xây dựng công trình. Lĩnh vực này, Trắc địa nghiên cứu phương pháp, phương tiện phục vụ thiết kế, thi công xây dựng và theo dõi biến dạng công trình.

Trắc địa bản đồ có nhiệm vụ nghiên cứu các phương pháp chiếu bản đồ; các phương pháp vẽ, biểu diễn, biên tập và in ấn bản đồ.

3. Vai trò của trắc địa trong quy hoạch và xây dựng công trình

Trắc địa có vai trò quan trọng trong giai đoạn quy hoạch, thiết kế, thi công và quản lý sử dụng các công trình xây dựng cơ bản như: xây dựng công nghiệp, dân dụng; xây dựng cầu đường; xây dựng thủy lợi, thủy điện.

Trong giai đoạn quy hoạch, tùy theo quy hoạch tổng thể hay chi tiết mà người ta sử dụng bản đồ địa hình tỷ lệ thích hợp để vạch ra các phương án quy hoạch, các kế hoạch tổng quát khai thác và sử dụng công trình.

Trong giai đoạn khảo sát thiết kế, trắc địa tiến hành thành lập lưới khống chế trắc địa, đo vẽ bản đồ, bình đồ và mặt cắt địa hình phục vụ chọn vị trí, lập các phương án xây dựng và thiết kế kỹ thuật công trình.

Trong giai đoạn thi công, trắc địa tiến hành công tác xây dựng lưới trắc địa công trình để bố trí công trình trên mặt đất theo đúng thiết kế; kiểm tra, theo dõi quá trình thi công; đo biến dạng và đo vẽ hoàn công công trình.

Trong giai đoạn quản lý và khai thác sử dụng công trình, trắc địa thực hiện công tác đo các thông số biến dạng công trình như độ lún, độ nghiêng, độ chuyển vị công trình. Từ các thông số biến dạng kiểm chứng công tác khảo sát thiết kế, đánh giá mức độ ổn định và chất lượng thi công công trình.

4. Tóm tắt lịch sử phát triển của ngành trắc địa

Khoảng 3000 năm trước Công nguyên, dọc hai bờ sông Nin Ai Cập, con người đã biết dùng những kiến thức sơ đẳng về hình học và đo đạc để phân chia lại đất đai sau khi lũ rút, đó chính là khởi đầu của môn đo đất. Khoảng thế kỷ thứ 6 trước công nguyên, người Hy Lạp đã cho rằng trái đất là khối cầu. Kiến thức đo đạc trong giai đoạn này đã góp phần xây dựng thành công các công trình kiến trúc độc đáo ở Ai Cập, Hy Lạp.

Thế kỷ thứ 16 nhà toán học Meccator tìm ra được phương pháp chiếu bản đồ. Thế kỷ thứ 17 nhà bác học Vecnie phát minh ra du xích. Thế kỷ thứ 18 Delambre đo được độ dài kinh tuyến qua Pari và đặt đơn vị độ dài $1\text{m} = 1/40.000.000$ độ dài kinh tuyến này. Thế kỷ thứ 19 nhà toán học Gauss đã đề ra phương pháp số bình phương nhỏ nhất và phương pháp chiếu bản đồ mới. Rất nhiều nhà trắc địa trên thế giới đã xác định được kích thước trái đất như: Bessel(1841), Everest(1830), Clarke(1866), Helmert(1906), Kraxovski(1940) và hiện tại nhiều nước đang dùng WGS-84(1984).

Ở Việt Nam, từ thời Âu Lạc đã biết sử dụng kiến thức trắc địa để xây thành Cổ Loa, kinh đô Thăng Long, kênh đào nhà Lê... Năm 1469 vua Lê Thánh Tông đã vẽ bản đồ bản đồ đất nước có tên "Đại Việt Hồng Đức".

Cục đo đạc Bản đồ thành lập năm 1959, Tổng cục Địa chính thành lập năm 1994 đã triển khai ứng dụng khoa học kỹ thuật Trắc địa trong xây dựng lưới tọa độ, độ cao Nhà nước; thành lập các loại bản đồ địa hình, địa chính phục vụ điều tra cơ bản, quản lý, xây dựng và quốc phòng.

CHƯƠNG 1. NHỮNG KIẾN THỨC CƠ BẢN

1.1. Khái niệm về định vị điểm

Mặt đất tự nhiên là bề mặt vật lý phức tạp, nhìn toàn cảnh trái đất gần giống quả cầu nước khổng lồ với hơn 2/3 diện tích bề mặt là đại dương và phần diện tích còn lại là lục địa, hải đảo. Trên mặt đất có chỗ cao trên 8km (đỉnh Chomolungma dãy Hymanaya); dưới đại dương có nơi sâu dưới -11km (hố Marian ở Thái Bình Dương). Độ cao trung bình của lục địa so với mực nước đại dương khoảng +875m.

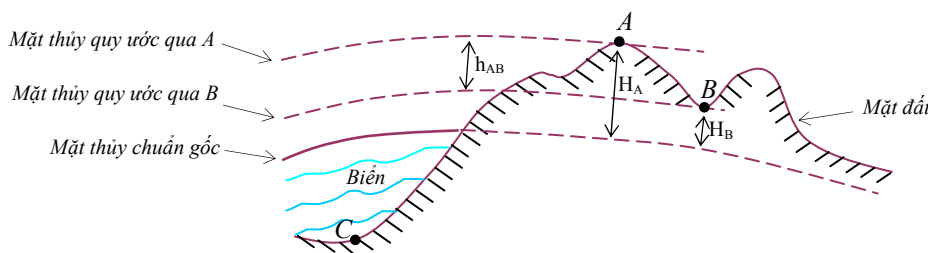
Để nghiên cứu trái đất và biểu diễn nó trên mặt phẳng, trắc địa phải tiến hành đo đạc mặt đất. Công tác trắc địa này thực chất là xác định vị trí các điểm đặc trưng của bề mặt đất trong hệ quy chiếu tọa độ nào đó và có thể hiểu đó là định vị điểm. Vị trí các điểm trên mặt đất được xác định bởi thành phần tọa độ mặt bằng và độ cao.

1.2. Mặt thủy chuẩn và hệ độ cao

Độ cao là thành phần quan trọng để xác định vị trí không gian của các điểm trên mặt đất, để có độ cao các điểm ta phải xác định các mặt chuẩn quy chiếu độ cao.

1.2.1. Mặt thủy chuẩn

Mặt nước biển trung bình ở trạng thái yên tĩnh, tưởng tượng kéo dài xuyên qua các lục địa, hải đảo tạo thành bề mặt khép kín được gọi là mặt thủy chuẩn trái đất. Mỗi quốc gia trên cơ sở số liệu quan trắc mực nước biển nhiều năm từ các trạm nghiệm triều đã xây dựng cho mình một mặt chuẩn độ cao riêng gọi là mặt thủy chuẩn gốc (hình 1.1).



Hình 1.1

Tại mọi điểm trên mặt thủy chuẩn gốc, phương đường dây dọi (phương trọng lực) luôn trùng với phương pháp tuyến. Vì vật chất phân bố không đồng đều trong lòng trái đất nên phương đường dây dọi tại các điểm trên mặt thủy chuẩn gốc không hội tụ về tâm quả đất đã làm cho bề mặt này gồ ghề, gợn sóng và đây cũng chỉ là bề mặt vật lý. Trong trắc địa sử dụng mặt thủy chuẩn làm mặt chuẩn độ cao.

Các mặt thủy chuẩn song song với mặt thủy chuẩn gốc được gọi là mặt thủy chuẩn quy ước, có vô số mặt thủy chuẩn quy ước.

1.2.2. Hệ thống độ cao

Độ cao tuyệt đối của một điểm trên mặt đất là khoảng cách theo phương đường dây dọi từ điểm đó đến mặt thủy chuẩn gốc. Ở hình 1.1, độ cao tuyệt đối của điểm A và B tương ứng là đoạn H_A và H_B có trị số dương, còn hiệu độ cao giữa chúng gọi là độ chênh cao h_{AB} .

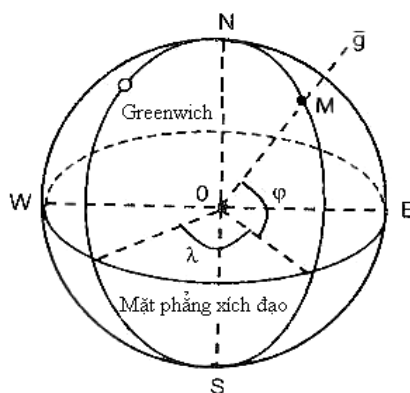
Ở Việt Nam hệ độ cao tuyệt đối (độ cao thường) lấy mặt thủy chuẩn gốc là mặt nước biển trung bình qua nhiều năm quan trắc tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu (Đồ Sơn, Hải Phòng). Độ cao các điểm lưới khống chế nhà nước, độ cao trong các loại bản đồ địa hình, địa chính và các công trình trọng điểm nhà nước đều phải gắn với hệ độ cao tuyệt đối này.

Độ cao tương đối của một điểm (độ cao quy ước hay độ cao giả định) là khoảng cách theo phương đường dây dọi từ điểm đó tới mặt thủy chuẩn quy ước. Ở hình 1.1, nếu chọn mặt thủy chuẩn đi qua điểm B là mặt thủy chuẩn quy ước thì độ cao quy ước của điểm A là đoạn h_{AB} .

Các công trình quy mô nhỏ, xây dựng ở nơi hẻo lánh xa hệ thống độ cao nhà nước thì có thể dùng độ cao quy ước. Trong xây dựng công trình công nghiệp và dân dụng người ta thường chọn mặt thủy chuẩn quy ước là mặt phẳng nền nhà tầng một.

1.3. Hệ tọa độ địa lý

Hệ tọa độ địa lý nhận trái đất là hình cầu với gốc tọa độ là tâm trái đất, mặt phẳng kinh tuyến gốc qua đài thiên văn Greenwich ở nước Anh và mặt phẳng vĩ tuyến gốc là mặt phẳng xích đạo (hình 1.2). Một điểm trên mặt đất trong hệ tọa độ địa lý được xác định bởi hai thành phần tọa độ là độ vĩ địa lý φ và độ kinh địa lý λ .



Hình 1.2

Độ vĩ địa lý của điểm M là góc hợp bởi phương đường dây dọi đi qua điểm đó với mặt phẳng xích đạo. Độ vĩ nhận giá trị 0° ở xích đạo và 90° ở hai cực. Các điểm trên mặt đất có độ vĩ bắc hay nam tùy thuộc chúng nằm ở bắc hay nam bán cầu.

Độ kinh địa lý của một điểm là góc nhị diện hợp bởi mặt phẳng kinh tuyến gốc và mặt phẳng kinh tuyến đi qua điểm đó. Độ kinh địa lý nhận giá trị từ 0° đến 180° và tùy thuộc vào điểm đang xét nằm ở đông hay tây bán cầu mà nó có độ kinh tương ứng là độ kinh đông hay độ kinh tây.

Hệ tọa độ địa lý dùng để xác định vị trí các điểm trên mặt đất, nó có ưu điểm là thống nhất cho toàn bộ quả đất nhưng nhược điểm là tính toán phức tạp. Một số ngành sử dụng hệ tọa độ này như: thiên văn, hàng không, hàng hải, khí tượng thủy văn...

Trong trắc địa cao cấp, mặt cầu trái đất được thay bằng mặt Elipxoid tròn xoay tạo bởi Elip có bán trục lớn a , bán trục nhỏ b và độ dẹt α quay quanh trục quay của trái đất. Vị trí các điểm trên bề mặt trái đất trong hệ tọa độ này cũng được xác định bởi độ vĩ trắc địa B , kinh độ trắc địa L và độ cao trắc địa H .

1.4. Phép chiếu bản đồ và hệ tọa độ vuông góc phẳng

1.4.1. Khái niệm về phép chiếu bản đồ

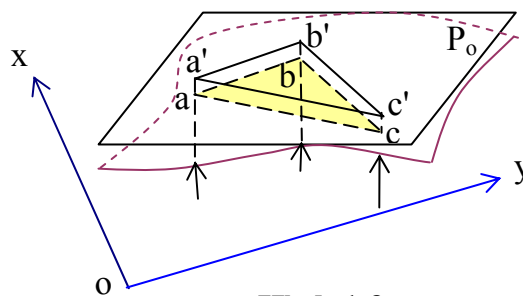
Mặt đất là mặt cong, để biểu diễn trên mặt phẳng sao cho chính xác, ít biến dạng nhất cần phải thực hiện theo một quy luật toán học nào đó gọi là phép chiếu bản đồ.

Để thực hiện phép chiếu bản đồ, trước tiên chiếu mặt đất tự nhiên về mặt chuẩn (mặt cầu hoặc mặt Elipxoid), sau đó chuyển từ mặt chuẩn sang mặt phẳng. Tùy theo vị trí địa lý của từng nước mà có thể áp dụng các phép chiếu bản đồ chu phù hợp, trong giáo trình này chỉ trình bày khái niệm về một số phép chiếu hay được sử dụng.

1.4.2. Phép chiếu mặt phẳng và hệ tọa độ vuông góc quy ước

Khi vực đo vẽ nhỏ có diện tích nhỏ hơn 100 km^2 , sai số biến dạng phép chiếu bản đồ nhỏ nên có thể coi khu vực đó là mặt phẳng và các tia chiếu từ tâm trái đất là song song với nhau.

Nếu khu vực ấy nằm ở những nơi hẻo lánh, xa lưới không chế nhà nước thì có thể giả định một hệ tọa độ vuông góc với trục OX là hướng bắc từ xác định bằng la bàn, trục OY vuông góc với trục OX và hướng về phía đông; gốc tọa độ là giao của hai trục và chọn ở phía tây nam của khu đo (hình 1.3).



Hình 1.3

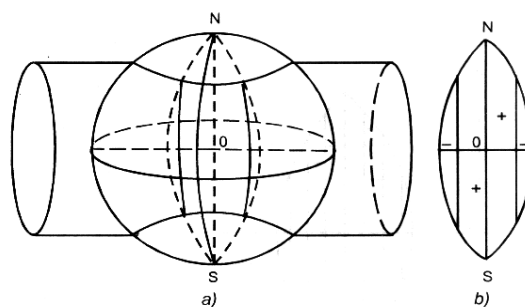
1.4.3. Phép chiếu UTM và hệ tọa độ Quốc gia Việt Nam VN-2000

1.4.3.1. Phép chiếu UTM

Phép chiếu bản đồ UTM (*Universal Transverse Mercator*) là phép chiếu hình trụ ngang đồng góc và được thực hiện như sau:

- Chia trái đất thành 60 múi bởi các đường kinh tuyến cách nhau 6° , đánh số thứ tự các múi từ 1 đến 60 bắt đầu từ kinh tuyến gốc, ngược chiều kim đồng hồ và khép về kinh tuyến gốc.

- Dựng hình trụ ngang cắt mặt cầu trái đất theo hai đường cong đối xứng với nhau qua kinh tuyến giữa múi và có tỷ lệ chiếu $k = 1$ (không bị biến dạng chiều dài). Kinh tuyến trục nằm ngoài mặt trụ có tỷ lệ chiếu $k = 0.9996$.



Hình 1.4

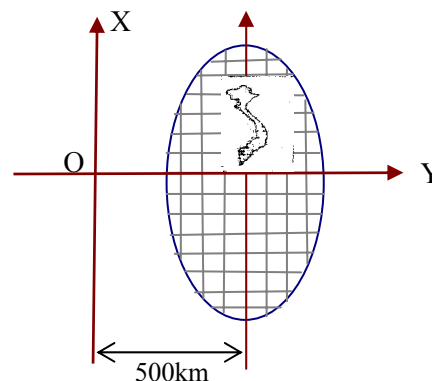
- Dùng tâm trái đất làm tâm chiếu, lần lượt chiếu từng múi lên mặt trụ theo nguyên lý của phép chiếu xuyên tâm. Sau khi chiếu, khai triển mặt trụ thành mặt phẳng (xem hình 1.4).

Phép chiếu UTM có ưu điểm là độ biến dạng được phân bố đều và có trị số nhỏ; mặt khác hiện nay để thuận tiện cho việc sử dụng hệ tọa độ chung trong khu vực và thế giới Việt Nam đã sử dụng lưới chiếu này trong hệ tọa độ Quốc gia VN-2000 thay cho phép chiếu Gauss-Kruger trong hệ tọa độ cũ HN-72.

1.4.3.2. Hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM

Trong phép chiếu UTM, các múi chiếu đều có kinh tuyến trục suy biến thành đường thẳng đứng được chọn làm trục OX; xích đạo suy biến thành đường nằm ngang chọn làm trục OY, đường thẳng OX vuông góc với OY tạo thành hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM trên các múi chiếu (hình 1.5).

Để trị số hoành độ Y không âm, người ta quy ước rời trục OX qua phía tây 500km và quy định ghi hoành độ Y có kèm số thứ tự múi chiếu ở phía trước ($X = 2524376,437$; $Y = 18.704865,453$). Trên bản đồ địa hình, để tiện cho sử dụng người ta đã kẻ những đường thẳng song song với trục OX và OY tạo thành lưới ô vuông tọa độ. Hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM này được sử dụng trong hệ tọa độ VN-2000.



Hình 1.5

1.4.3.3. Hệ tọa độ Quốc gia Việt Nam VN-2000

Hệ tọa độ VN-2000 được Thủ tướng Chính phủ quyết định là hệ là hệ tọa độ Trắc địa-Bản đồ Quốc gia Việt Nam và có hiệu lực từ ngày 12/8/2000. Hệ tọa độ này có các đặc điểm:

- Sử dụng Elipsoid WGS-84 (World Geodesic System 1984) làm Elip thực dụng, Elip này có bán trục lớn $a = 6378137$, độ lệch $\alpha = 1:298,2$.
- Sử dụng phép chiếu và hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM.
- Góc tọa độ trong khuôn viên Viện Công nghệ Địa chính, Hoàng Quốc Việt, Hà Nội.

1.5. Hệ định vị toàn cầu GPS

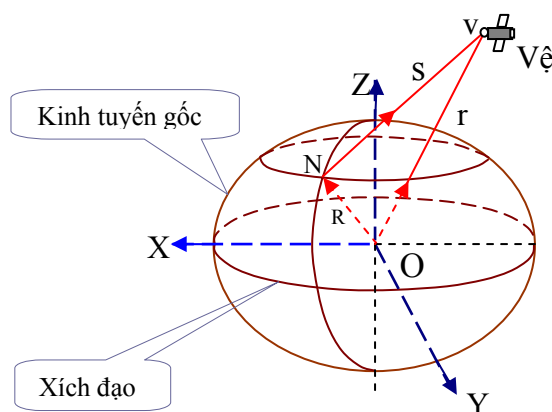
Hệ định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System) được Bộ Quốc phòng Mỹ triển khai từ những năm 70 của thế kỷ 20. Ban đầu, hệ thống này được dùng cho mục đích quân sự, sau đó đã được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác. Với ưu điểm nổi bật như độ chính xác, mức độ tự động hóa cao, hiệu quả kinh tế lớn, khả năng ứng dụng ở mọi nơi, mọi lúc, trên đất liền, trên biển, trên không... nên công nghệ GPS đã đem lại cuộc cách mạng kỹ thuật sâu sắc trong lĩnh vực trắc địa.

Ở Việt nam, công nghệ GPS đã được nhập vào từ những năm 1990 và đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Trong trắc địa công nghệ GPS đã được ứng dụng để thành lập lưới tọa độ liên lục địa, lưới tọa độ quốc gia cho đến đo vẽ chi tiết bản đồ.

Công nghệ GPS cũng đã được ứng dụng trong trắc địa công trình để thành lập lưới khống chế trong đo vẽ bản đồ, thi công và quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình. So với các phương pháp truyền thống thì ứng dụng GPS để thành lập lưới khống chế có ưu điểm nổi bật như: chọn điểm linh hoạt hơn, không cần thông hướng giữa các điểm, cạnh đo nhanh hơn và có thể đo cả ngày lẫn đêm, độ chính xác cao và từ đó hiệu quả cao hơn.

1.5.1. Nguyên lý định vị GPS

Các điểm mặt đất được định vị GPS trong hệ tọa độ địa tâm xây dựng trên Elipsoid WGS-84. Hệ tọa độ có gốc tọa độ O là tâm trái đất, trục OX là đường thẳng nối tâm trái đất với giao điểm kinh tuyến gốc cắt đường xích đạo; trục OY vuông góc với OX, trục OZ trùng với trục quay trái đất và vuông góc với mặt phẳng xoy (hình 1.6).



Hình 1.6

Từ hình 1.6 ta có mối quan hệ:

$$S = \|\vec{r} - \vec{R}\| \quad (1.1)$$

Trong đó:

vector R - là vector vị trí (X_N, Y_N, Z_N) các điểm cần định vị trên mặt đất tại thời điểm “t” nào đó, đây chính là bốn ẩn số cần xác định đối với vị trí một điểm.

vector r – là vector vị trí (X_v, Y_v, Z_v) các vệ tinh trên quỹ đạo tại thời điểm “t” đã biết từ thông tin đạo hàng mà máy định vị thu được từ vệ tinh.

S - là khoảng cách giữa từ điểm định vị đến vệ tinh mà máy định vị GPS đo được.

Như vậy để định vị một điểm ta cần lập và giải hệ phương trình tối thiểu phải có bốn phương trình dạng (1.1). Số phương trình lớn hơn bốn sẽ được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, vì vậy càng thu được tín hiệu của nhiều vệ tinh thì độ chính xác định vị càng cao.

1.5.2. Cấu trúc của hệ thống định vị toàn cầu GPS

Hệ thống định vị toàn cầu GPS gồm ba bộ phận: đoạn không gian, đoạn điều khiển và đoạn sử dụng.

1.5.2.1. Đoạn không gian(space segment)

Đoạn không gian gồm 24 vệ tinh phân bố trên 6 quỹ đạo gần tròn, trên mỗi quỹ đạo có 4 vệ tinh, mặt phẳng quỹ đạo nghiêng với mặt phẳng xích đạo 55° . Các vệ tinh bay trên các quỹ đạo cách mặt đất cỡ 20200km. Chu kỳ chuyển động của vệ tinh trên quỹ đạo là 718 phút (12giờ). Số lượng vệ tinh có thể quan sát được tùy thuộc vào thời gian và vị trí quan sát trên mặt đất, nhưng có thể nói rằng ở bất kỳ thời điểm và vị trí nào trên trái đất cũng có thể quan trắc được tối thiểu 4 vệ tinh và tối đa 11 vệ tinh.

Mỗi vệ tinh đều có đồng hồ nguyên tử có độ ổn định tần số 10^{-12} , tạo ra tín hiệu với tần số cơ sở $f_0 = 10,23\text{MHz}$, từ đó tạo ra sóng tải $L_1 = 154 \cdot f_0 = 1575,42\text{MHz}$ ($\lambda = 19\text{cm}$) và $L_2 = 120 \cdot f_0 = 1227,60\text{MHz}$ ($\lambda = 24\text{cm}$). Các sóng tải được điều biến bởi hai loại code khác nhau:

- C/A-code (Coarse/Accquisition code), dùng cho mục đích dân sự với độ chính xác không cao và chỉ điều biến sóng tải L_1 . Chu kỳ lặp lại của C/A-code là 1 miligiây và mỗi vệ tinh được gán một C/A code riêng biệt.

- P-code (precision code), được dùng cho quân đội Mỹ với độ chính xác cao, điều biến cả sóng tải L_1 và L_2 . Mỗi vệ tinh chỉ được gán một đoạn code loại này, do đó P-code rất khó bị giải mã để sử dụng nếu không được phép.

Ngoài ra cả hai sóng tải L_1 và L_2 còn được điều biến bởi các thông tin đạo hàng về: vị trí vệ tinh, thời gian của hệ thống, số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh, quang cảnh phân bố vệ tinh trên bầu trời và tình trạng của hệ thống.

1.5.2.2. Đoạn điều khiển (control segment)

Gồm một trạm điều khiển trung tâm đặt tại căn cứ không quân Mỹ gần Colorado Spring và bốn trạm quan sát đặt tại: Hawaii (Thái Bình Dương), Assention Island (Đại Tây Dương), Diego Garcia (Ấn Độ Dương) và Kwajalein (Tây Thái Bình Dương).

Các trạm quan sát đều có máy thu GPS để theo dõi liên tục các vệ tinh, đo các số liệu khí tượng và gửi số liệu này về trạm trung tâm. Số liệu các trạm quan sát được trạm trung tâm xử lý cùng với số liệu đo được của bản thân nó cho thông tin chính xác về vệ tinh, số hiệu chỉnh đồng hồ. Các số liệu này được phát trở lại các vệ tinh, công việc chính xác hóa thông tin được thực hiện 3 lần trong một ngày.

1.5.2.3. Đoạn sử dụng (User segment)

Đoạn này gồm các máy móc thiết bị thu nhận thông tin từ vệ tinh để khai thác sử dụng. Đó có thể là máy thu riêng biệt, hoạt động độc lập (định vị tuyệt đối) hay một nhóm từ hai máy trở lên hoạt động đồng thời (định vị tương đối) hoặc hoạt động theo chế độ một máy thu đóng vai trò máy chủ phát tín hiệu chỉnh cho các máy thu khác (định vị vi phân).

1.5.2.4. Các phương pháp định vị GPS

- Định vị tuyệt đối

Định vị tuyệt đối là dựa vào trị đo khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu GPS để xác định trực tiếp vị trí tuyệt đối của Anten máy thu trong hệ tọa độ WGS-84. Độ chính xác của định vị tuyệt đối khoảng 10m đến 40m.

Định vị tuyệt đối chia thành định vị tuyệt đối tĩnh và định vị tuyệt đối động, "tĩnh" hay "động" là nói trạng thái của Anten máy thu trong quá trình định vị.

- Định vị tương đối

Định vị tương đối là trường hợp dùng hai máy thu GPS đặt ở hai điểm khác nhau, quan trắc đồng bộ các vệ tinh để xác định vị trí tương đối giữa chúng ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) trong hệ WGS-84, nếu biết tọa độ một điểm thì sẽ tính được tọa độ điểm kia. Độ chính xác định vị tương đối cao hơn rất nhiều so với định vị tuyệt đối.

- Định vị vi phân

Trong định vị vi phân, một máy đặt tại một điểm đã biết tọa độ (trạm gốc), các máy thu khác đặt tại các điểm cần xác định tọa độ (trạm đo). Dựa vào độ chính xác đã biết của trạm gốc, tính số hiệu chỉnh khoảng cách từ trạm gốc đến vệ tinh và hiệu chỉnh này được máy GPS

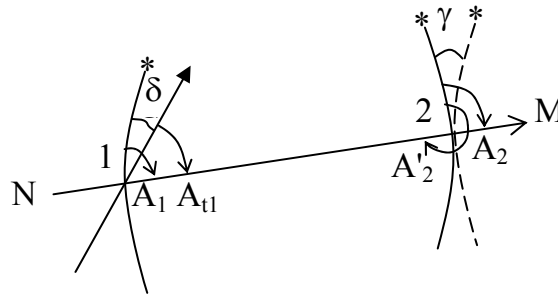
ở trạm gốc phát đi. Máy trạm đo trong khi đo đồng thời vừa thu được tín hiệu vệ tinh và số hiệu chỉnh của trạm gốc và tiến hành hiệu chỉnh kết quả định vị, chính vì thế nâng cao được độ chính xác định vị.

1.6. Định hướng đường thẳng

Muốn biểu thị một đoạn thẳng lên bản đồ ngoài độ dài còn phải biết phương hướng của nó. Việc xác định hướng của một đường thẳng so với một hướng gốc nào đó gọi là định hướng đường thẳng. Trong trắc địa tùy theo điều kiện cụ thể ta có thể chọn hướng gốc là hướng bắc kinh tuyến thực, kinh tuyến từ hoặc hình chiếu các kinh tuyến trục làm hướng gốc. Tương ứng với các hướng gốc đó ta có các góc định hướng là góc phương vị thực (A), phương vị từ (A_t), góc định hướng (α).

1.6.1. Góc phương vị

Góc phương vị của một đường thẳng là góc bằng tính từ hướng bắc kinh tuyến, thuận chiều kim đồng hồ đến hướng đường thẳng (hình 1.7).



Hình 1.7

Có hai loại góc phương vị, nếu hướng gốc là hướng bắc kinh tuyến thực ta sẽ có góc phương vị thực A còn nếu hướng gốc là hướng bắc kinh tuyến từ sẽ có góc phương vị từ A_t . Quan hệ giữa hai loại góc phương vị này là:

$$A = A_t \pm \delta \quad (1.2)$$

Trong đó δ là độ chênh lệch từ, lấy dấu + khi kinh tuyến từ từ lệch về đông kinh tuyến thực và lấy dấu - khi kinh tuyến từ lệch về tây kinh tuyến thực.

Trên cùng một đường thẳng, tại các điểm khác nhau góc phương vị có trị số lệch nhau một lượng bằng độ hội tụ kinh tuyến γ .

$$A_2 = A_1 \pm \gamma \quad \text{với} \quad \gamma = \Delta\lambda \sin\varphi \quad (1.3)$$

Góc phương vị nhận giá trị từ $(0 \sim 360)^\circ$. Nếu nhìn theo hướng cho trước của đường thẳng ta có góc định hướng là góc phương vị thuận, còn nếu nhìn ngược hướng với hướng đường thẳng cho trước sẽ có góc phương vị ngược, trị số góc định hướng thuận và ngược lệch nhau đúng bằng 180° .

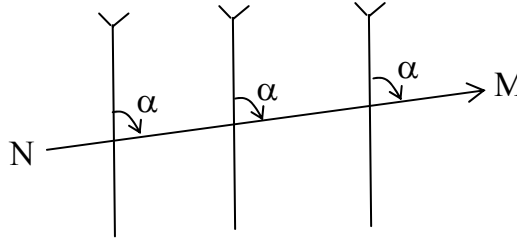
$$A' = A \pm 180^\circ \quad (1.4)$$

Góc phương vị dùng để định hướng đường thẳng trên mặt đất. Hướng của đường băng, hướng di chuyển của tâm bão hoặc hướng đi của tàu trên biển dùng là góc phương vị.

1.6.2. Góc định hướng

1.6.2.1. Khái niệm

Góc định hướng của một đường thẳng là góc bằng tính từ hướng bắc của hình chiếu kinh tuyến trục hoặc các đường thẳng song song với nó theo chiều thuận kim đồng hồ tới hướng đường thẳng, nhận giá trị từ $0-360^\circ$.



Hình 1.8

Góc định hướng của đường thẳng NM ký hiệu là α_{NM} . Vì hướng bắc của hình chiếu kinh tuyến trục nhận là trục OX nên góc định hướng cũng được tính từ hướng bắc trục OX hoặc hướng bắc của các đường thẳng song song với OX.

Góc định hướng của một đường thẳng đều có trị số như nhau tại mọi điểm của nó. Ta cũng có góc định hướng thuận và ngược, trị số của chúng lệch nhau 180° . Quan hệ giữa các yếu tố định hướng đường thẳng:

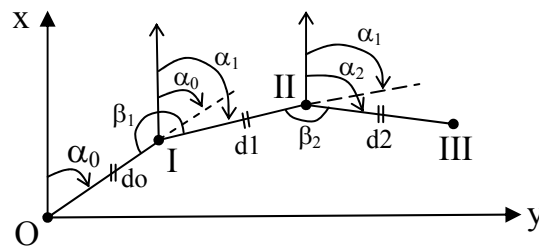
$$A = A_t + \delta; A = \alpha + \gamma \Rightarrow \alpha = A_t + \delta - \gamma \quad (1.5)$$

Để hỗ trợ cho việc tính góc định hướng trong bài toán trắc địa ngược, người ta còn sử dụng góc hai phương (r). Góc hợp bởi hướng bắc hoặc nam so với đường thẳng sao cho trị số của nó luôn nhỏ hơn hoặc bằng 90° . Ta có quan hệ giữa góc định hướng và hai phương:

$$\begin{aligned} \alpha &= r \text{ (cung phần tư I)} & \alpha &= 180^\circ + r \text{ (cung phần tư III)} \\ \alpha &= 180^\circ - r \text{ (cung phần tư II)} & \alpha &= 360^\circ - r \text{ (cung phần tư IV)} \end{aligned} \quad (1.6)$$

1.6.2.2. Bài toán tính chuyển góc định hướng

Giả sử trên mặt phẳng tọa độ XOY có các góc kẹp giữa các đoạn thẳng $d_0, d_1, d_2, \dots$ tương ứng là $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ (hình 1.8).



Hình 1.9

Từ hình 1.8 ta có: $\alpha_1 = \alpha_0 + \beta_1 - 180^\circ, \alpha_2 = \alpha_1 - \beta_2 + 180^\circ, \dots$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm \beta_i \mp 180^\circ \quad (1.7)$$

CHƯƠNG 2. LÝ THUYẾT SAI SỐ ĐO

2.1. Khái niệm - phân loại sai số đo

2.1.1. Phép đo và sai số đo

Đo một đại lượng nào đó thực chất là so sánh nó với đơn vị đo cùng loại. Cũng có thể hiểu phép đo là một phép thử và kết cục của một phép thử là một trị đo.

Đo trực tiếp là so sánh trực tiếp đại lượng cần đo với đơn vị đo tương ứng. Trong thực tế không phải lúc nào cũng tiến hành đo trực tiếp, nếu đại lượng cần đo phải xác định thông qua các đại lượng đo trực tiếp khác thì gọi là đo gián tiếp. Khi đo trong điều kiện đo như nhau thì kết quả có cùng độ chính xác; ngược lại, kết quả đo sẽ không cùng độ chính xác nếu điều kiện đo khác nhau.

Có thể hiểu sai số đo là hiệu số giữa trị đo với trị thực gọi là sai số thực (Δ_i), hoặc hiệu số giữa trị đo với trị gần đúng nhất (trị xác suất nhất) gọi là sai số gần đúng (v_i).

$$\Delta_i = L_i - X \quad v_i = L_i - x \quad (2.1)$$

Trong đó: L_i - trị đo; X - trị thực ; x - trị xác suất nhất (trị gần đúng nhất)

2.1.2. Phân loại sai số đo

2.1.2.1. Sai số sai lầm

Sai số sai lầm sinh ra do sự nhầm lẫn của con người trong quá trình đo. Sai số sai lầm khi xuất hiện thường có trị số lớn, nhưng dễ dàng bị loại bỏ khi được phát hiện. Để giảm sai số sai lầm cần tăng cường ý thức trách nhiệm của người đo, đề ra các biện pháp kiểm tra trong quá trình đo và xử lý số liệu.

2.1.2.2. Sai số hệ thống

Sai số hệ thống xuất hiện thường có quy luật cả về dấu và trị số. Các nguyên nhân sinh ra sai số hệ thống là do dụng cụ máy móc không hoàn chỉnh, do thói quen người đo và do điều kiện ngoại cảnh. Để giảm sai số hệ thống phải kiểm nghiệm hiệu chỉnh thiết bị đo, chọn phương pháp và thời điểm đo thích hợp.

2.1.2.3. Sai số ngẫu nhiên

Sai số ngẫu nhiên sinh ra do ảnh hưởng tổng hợp của nhiều nguồn sai số, chúng luôn luôn tồn tại trong kết quả đo, xuất hiện biến thiên phức tạp cả về dấu và trị số.

Khi quan sát một vài sai số ngẫu nhiên đơn lẻ thì khó có thể phát hiện được quy luật xuất hiện của chúng; nhưng khi nghiên cứu một tập hợp nhiều sai số ngẫu nhiên trong cùng điều kiện độ chính xác thì theo lý thuyết xác suất chúng xuất hiện theo bốn quy luật sau:

- Quy Luật giới hạn: Trong cùng điều kiện đo, trị số các sai số ngẫu nhiên không vượt qua một giới hạn nhất định, giới hạn này chỉ thay đổi khi điều kiện đo thay đổi.
- Quy luật tập trung: Những sai số ngẫu nhiên có trị tuyệt đối nhỏ thường xuất hiện nhiều hơn những sai số ngẫu nhiên có trị tuyệt đối lớn.
- Quy luật đối xứng: các sai số ngẫu nhiên âm và dương có trị tuyệt đối bằng nhau đều có khả năng xuất hiện như nhau.
- Quy luật triệt tiêu: Giới hạn của trị trung bình cộng các sai số ngẫu nhiên sẽ dần tới không khi số lần đo tăng lên vô hạn.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (2.2)$$

2.2. Các tiêu chuẩn độ chính xác của kết quả đo

Sai số ngẫu nhiên luôn thay đổi cả về dấu và trị số, do đó không thể lấy một sai số ngẫu nhiên đơn lẻ nào để đặc trưng cho độ chính xác dãy trị đo trực tiếp. Để đánh giá độ chính xác của kết quả đo người ta dùng các tiêu chuẩn sau:

2.2.1. Sai số trung bình cộng

Là trị trung bình cộng các trị tuyệt đối các sai số thực thành phần, được xác định bởi công thức:

$$\theta = \pm \frac{[|\Delta|]}{n} = \pm \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|}{n} \quad (2.3)$$

Trong đó các Δ_i là các sai số thực thành phần; n là số lần đo.

2.2.2. Sai số trung phương

Là căn bậc hai của trị trung bình cộng của bình phương các sai số thực thành phần:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} \quad (2.4)$$

2.2.3. Sai số giới hạn

Ta biết giới hạn sai số đo phụ thuộc vào điều kiện đo. Trị đo nào đó có sai số vượt qua giới hạn đó sẽ được coi là không đảm bảo độ chính xác. Qua khảo sát 1000 sai số ngẫu nhiên trong cùng điều kiện đo, chỉ có ba sai số ngẫu nhiên có trị số bằng ba lần sai số trung phương; điều đó có nghĩa là những sai số có trị số lớn như vậy xuất hiện rất hữu hạn. Vì thế quy định sai số giới hạn là $\Delta_{\text{lim}} = 3m$; trong trắc địa công trình $\Delta_{\text{lim}} = 2m$.

2.2.4. Sai số tương đối

Sai số trung bình, trung phương, giới hạn là những sai số tuyệt đối. Trong đo chiều dài nếu dùng sai số tương đối thì sẽ phản ánh rõ hơn mức độ chính xác của kết quả đo.

Sai số tương đối là tỷ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị của đại lượng đo, trong đó tử luôn nhận là 1 còn mẫu số được làm tròn đến bội số của 10. Mẫu số của sai số tương đối biểu thị cho chất lượng đo đạc, mẫu số càng lớn thì độ chính xác đo càng cao và ngược lại.

2.2.5. Công thức Bessel

Sai số trung phương ở (1.11) được tính qua sai số thực Δ_i . Trị thực của đại lượng đo thường không biết trước được, do vậy tiêu chuẩn đó cũng không xác định. Khi đo nhiều lần một đại lượng nào đó ta sẽ xác định được trị gần đúng nhất của nó, vì thế sai số gần đúng nhất v_i cũng được xác định. Nhà bác học Bessel đã xây dựng công thức tính sai số trung phương qua sai số gần đúng này.

Sai số thực : $\Delta_i = L_i - X$

Sai số gần đúng : $v_i = L_i - x$

Trong đó X - trị thực; x- trị gần đúng nhất; L_i - trị đo ở lần đo thứ i

$$\begin{aligned} \Delta_i - v_i &= x - X = \delta \\ \rightarrow \Delta_i &= v_i + \delta \end{aligned} \quad (2.5)$$

Trong đó δ là sai số thực của trị gần đúng. Biểu thức (2.5) cho $i = 1 \sim n$, bình phương hai vế, lấy tổng rồi chia cả hai vế cho n ta được:

$$\frac{[\Delta \Delta]}{n} = \frac{[vv]}{n} + \frac{2\delta[v]}{n} + \delta^2 \rightarrow m^2 = \frac{[vv]}{n} + \delta^2 \quad (2.6)$$

Lấy tổng hai vế biểu thức (2.5), chia 2 vế cho n được $\frac{[\Delta]}{n} = \delta$, bình phương biểu thức này được:

$$\frac{[\Delta \Delta]}{n^2} + \frac{2[\Delta_i \Delta_j]}{n^2} = \delta^2 = \frac{m^2}{n}$$

Thay biểu thức này vào biểu thức (2.6) có:

$$m^2 = \frac{[vv]}{n} + \frac{m^2}{n} \rightarrow m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2.7)$$

2.2.6. Sai số trung phương hàm số dạng tổng quát

Trong trắc địa có nhiều trường hợp đại lượng cần xác định được xác định gián tiếp qua các đại lượng đo trực tiếp, hoặc các đại lượng cho trước; khi các đại lượng này mắc sai số thì các đại lượng cần xác định cũng sẽ có sai số. Ta sẽ nghiên cứu vấn đề này: Giả sử có hàm:

$$Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Trong đó x_i là các đại lượng đo độc lập có các sai số trung phương tương ứng là:

$$m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$$

Nếu x_i có gia số tương ứng là Δ_i thì hàm Z cũng có gia số là Δ_z :

$$Z + \Delta_z = f(x_1 + \Delta_1, x_2 + \Delta_2, x_3 + \Delta_3, \dots, x_n + \Delta_n).$$

Vì các Δ_i nhỏ, khai triển hàm Z theo chuỗi Taylor và chỉ giữ lại số hạng bậc 1; thay các vi phân dx bằng các sai số thực Δ_i ta có:

$$Z + \Delta_z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \sum_1^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \rightarrow \Delta_z = \sum_1^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i$$

Đặt $k_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$, với x_i cho trước thì các k_i là hằng số ta có:

$$(\Delta_i)_j = (k_1 \Delta_1 + k_2 \Delta_2 + k_3 \Delta_3 + \dots + k_n \Delta_n)_j$$

Cho $j = 1 \sim n$, bình phương hai vế, lấy tổng hai vế, chia cho n ta có:

$$\frac{[\Delta_z^2]}{n} = k_1^2 \frac{[\Delta_{x1}^2]}{n} + k_2^2 \frac{[\Delta_{x2}^2]}{n} + k_3^2 \frac{[\Delta_{x3}^2]}{n} + \dots + k_n^2 \frac{[\Delta_{xn}^2]}{n} + 2k_1 k_2 \frac{[\Delta_{x1} \Delta_{x2}]}{n} + 2k_1 k_3 \frac{[\Delta_{x1} \Delta_{x3}]}{n} + \dots + 2k_1 k_n \frac{[\Delta_{x1} \Delta_{xn}]}{n} + \dots$$

Cuối cùng ta có:

$$m_z^2 = k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + k_3^2 m_3^2 + \dots + k_n^2 m_n^2 \quad (2.8)$$

2.3. Bình sai trực tiếp các trị đo

2.3.1. Khái niệm bình sai trực tiếp

Bản chất của phương pháp bình sai trực tiếp là tiến hành đo nhiều lần một đại lượng và nhận được nhiều trị đo có thể cùng độ chính xác hoặc không cùng độ chính xác. Nhiệm vụ đặt ra là tiến hành bình sai như thế nào để tìm được trị xác suất nhất của trị đo, đánh giá độ chính xác của các trị đo và độ chính xác của trị sau bình sai.

Nguyên lý số bình phương nhỏ nhất chỉ ra rằng trong trường hợp đo cùng độ chính xác thì trị có độ tin cậy cao nhất là trị có các sai số gần đúng v_i thoả mãn điều kiện:

$$[vv] = \min \quad (2.9)$$

Còn trường hợp đo không cùng độ chính xác thì $[pvv] = \min$. Ta lần lượt nguyên cứu vấn đề bình sai trực tiếp này.

2.3.2. Bình sai trực tiếp các trị đo cùng độ chính xác

Giả sử trị xác suất nhất của một đại lượng đo nào đó là x , đo đại lượng này n lần trong điều kiện cùng độ chính xác và thu được n trị đo lần lượt là:

$$L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$$

Ta có các sai số gần đúng:

$$v_i = L_i - x$$

Đặt: $y = [vv] = [(x - L_i)^2] = \min$

Giải bài toán cực tiểu theo biến x :

$$y' = [2(L_i - x)] = 0 \rightarrow x = \frac{[L]}{n} \quad (2.10)$$

$$y'' = 2n > 0$$

Do đó trị x là trị thoả mãn điều kiện số bình phương nhỏ nhất nên nó là trị xác suất nhất của dãy trị đo trong cùng điều kiện độ chính xác; trị này chính là trị trị trung bình cộng đơn giản.

- Sai số trung phương của trị trung bình cộng đơn giản

$$M_x = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (2.11)$$

- Sai số của dãy trị đo đánh giá theo công thức Bessel

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2.12)$$