



## Phân tích và mô hình hóa dữ liệu cảm biến quán tính của iPhone sử dụng phương sai Allan

Trần Trung Chuyên<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Thị Mai Dung<sup>1</sup>, Lê Hồng Anh<sup>1</sup>,  
Nguyễn Trường Xuân<sup>1</sup>, Đào Ngọc Long<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>2</sup>Viện khoa học Đo đạc và Bản đồ Việt Nam, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 11/5/2016

Chấp nhận 8/8/2016

Đăng online 30/8/2016

Từ khóa:

Phương sai Alan

Phân tích nhiễu

Mô hình hóa

Cảm biến quán tính

Bộ lọc Kalman

### TÓM TẮT

Phương sai Allan là một phương pháp dùng để xác định sự ổn định của tần số trong các bộ dao động bằng cách phân tích chuỗi dữ liệu trong miền thời gian. Phương pháp này cũng có thể được sử dụng để xác định các loại nhiễu khác nhau tồn tại trong dữ liệu cảm biến quán tính. Trong bài báo này, phương pháp phân tích phương sai Allan sẽ được sử dụng để xác định các thông số nhiễu ngẫu nhiên trong mô hình hóa các nhiễu của cảm biến quán tính trong iPhone 6 Plus. Dữ liệu với thời lượng 5 giờ ổn định thu thập từ iPhone 6 Plus được sử dụng cho việc phân tích. Kết quả phân tích dữ liệu đã xác định nhiễu trắng là tạp nhiễu nổi trội đối với tần số lấy mẫu nhỏ. Đối với trục z của cảm biến gia tốc, nhiễu tỉ lệ bước vận tốc ngẫu nhiên cũng xuất hiện nổi trội. Kết quả của bài báo cũng khẳng định phương pháp phương sai Allan là công cụ hữu hiệu để đánh giá các thông số đặc trưng của từng loại nhiễu tồn tại trong dữ liệu đầu ra của cảm biến quán tính.

© 2016 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

### 1. Đặt vấn đề

Các cảm biến trên điện thoại thông minh là một trong những thành phần quan trọng hàng đầu giúp nâng cao trải nghiệm người dùng. Thuật ngữ “điện thoại thông minh” (smartphone) xuất hiện khi chúng được trang bị các cảm biến, màn hình cảm ứng cùng với hệ thống liên quan cho thấy tầm quan trọng của các cảm biến là rất lớn. Các cảm biến quán tính trên smartphone được

trang bị cùng với thư viện lập trình giúp các nhà phát triển phần mềm có thể khai thác và sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau và có thể lập trình để xây dựng một hệ thống dẫn đường quán tính đầy đủ mà không cần bất cứ thiết bị hỗ trợ nào. Hệ thống dẫn đường quán tính (Inertial Navigation System - INS) được biết đến là có thể cung cấp thông tin về vị trí, vận tốc và tư thế có độ chính xác cao trong khoảng thời gian ngắn. Tuy nhiên, độ chính xác của hệ thống nhanh chóng giảm sút theo thời gian do ảnh hưởng của sai số (nhiều) trên các cảm biến. Để giải quyết vấn đề sai số

\*Tác giả liên hệ.

E-mail: [trantrungchuyen@humg.edu.vn](mailto:trantrungchuyen@humg.edu.vn)

trong hệ thống INS, người ta phân loại các nhiễu trên cảm biến thành nhiễu ngẫu nhiên và nhiễu hệ thống. Có thể thống kê các nguồn sai số và đặc tính cũng như phương pháp xử lý chúng ở Bảng 1.

Việc xử lý nhiễu hệ thống cần phải xác định chính xác bằng việc hiệu chuẩn thiết bị kết hợp các số hiệu chỉnh từ thông số của nhà sản xuất. Ví dụ, các sai số cảm biến quán tính trong iPhone 6 Plus là 3 trục của cảm biến vận tốc góc (gyroscope) và 3 trục của cảm biến gia tốc (accelerometer) được chế tạo bởi hãng InvenSense (<https://goo.gl/rpwCaC>

2015), các thông số của cảm biến được thể hiện ở Bảng 2 (<http://goo.gl/yjdSr> 2016).

Để giảm thiểu nhiễu ngẫu nhiên thì chúng ta có thể sử dụng đến bộ lọc tối ưu như bộ lọc Kalman, song cũng cần phải xác định được các thông số đặc trưng của các nhiễu ngẫu nhiên này. Nhu cầu đối với việc ước lượng chính xác các thông tin dẫn đường quán tính là rất lớn, đòi hỏi phải mô hình hóa các thành phần nhiễu của các cảm biến, từ đó sẽ có phương pháp tính toán giúp cho hệ thống đạt được kết quả tối ưu.

Bảng 1. Các nguồn sai số của cảm biến quán tính

Sai số	Đặc tính		Cách xử lý (loại bỏ / giảm thiểu)		
	Hệ thống	Ngẫu nhiên	Hiệu chuẩn	Hiệu chỉnh	Mô hình hóa
Độ lệch ( <i>bias</i> )	✓	✓	✓		✓
Hệ số tỷ lệ ( <i>scale factor</i> )	✓		✓		
Các loại nhiễu ( <i>noise</i> )		✓			✓

Bảng 2. Các thông số của cảm biến quán tính trong iPhone 6 Plus (<http://goo.gl/yjdSr> 2016)

Đặc tính của cảm biến	InvenSense MP67B (MPU-6050)			
	Gyroscope		Accelerometer	
	Giá trị	Đơn vị	Giá trị	Đơn vị
Nhiệt độ vận hành	-40 ~ +85	°C	-40 ~ +85	°C
Phạm vi đo đạc (theo điều kiện thiết lập)	±250 ±500 ±1000 ±2000	°/giây	±2 ±4 ±8 ±16	<i>g</i>
Độ nhạy (theo điều kiện thiết lập)	131 65.5 32.8 16.4	LSB/°/giây	16,384 8,192 4,096 2,048	LBS/ <i>g</i>
Tỉ lệ mật độ nhiễu phổ tại 10Hz	0.005	°/s/√Hz		
Mật độ nhiễu tại 10Hz			400	μg/√Hz
Độ lệch tâm (offset) trên trục x và y	±20	°/giây	±50	mg
Độ lệch tâm (offset) trên trục z	±20	°/giây	±80	mg
Độ mất ổn định offset theo nhiệt độ trên trục x và y (từ 0°C đến +70°C)	±20	°/giây	±35	mg
Độ mất ổn định offset theo nhiệt độ trên trục z (từ 0°C đến +70°C)	±20	°/giây	±60	mg

Một vài phương pháp đã được áp dụng để mô hình hóa nhiễu của cảm biến quán tính như phương pháp phân tích mật độ phổ công suất (Power Spectral Density - PSD) (Tröbs, 2006) và phương pháp phân tích phương sai Allan (Hou, 2003).

Phương pháp phương sai Allan cũng đã được sử dụng để mô hình hóa cảm biến quán tính loại cấp độ dẫn đường Honeywell CIMU, cấp độ chiến thuật Honeywell HG1700 và cấp độ MEMS Systron Donner MotionPak II-3g tại Phòng thí nghiệm quán tính, Tập đoàn Hệ thống đa cảm biến di động (Mobile Multi-Sensor System Group), Khoa kỹ thuật địa tin học, Đại học Calgary (Naser, 2008).

Cách tiếp cận miền tần số để mô hình hóa tạp nhiễu bằng phương pháp PSD cũng được dùng để ước lượng mức độ năng lượng cho các tần số thành phần của tín hiệu. Về mặt toán học, PSD được định nghĩa là biến đổi Fourier của dãy tự tương quan theo chuỗi thời gian, nghĩa là trị trung bình trong một chiều dài cửa sổ thời gian nhân với trị đo và được làm trễ đi một khoảng thời gian (Tröbs 2006). PSD có thứ nguyên là (đơn vị)<sup>2</sup>/Hz, nó cho biết “năng lượng” trong chuỗi thời gian  $x(t)$  được phân chia cho các tần số thành phần ra sao. Một đỉnh nhọn trong PSD có nghĩa là có một tín hiệu hình sin trong dữ liệu. Phương pháp PSD tỏ ra kém hiệu quả vì nó không mô tả được hầu hết các thành phần nhiễu của cảm biến quán tính.

Phương sai Allan là một phương pháp phân tích chuỗi các dữ liệu trong miền thời gian dùng để đo lường sự ổn định tần số trên miền tần số. Phương pháp này là một trong những phương pháp phổ biến nhất hiện nay để xác định và định lượng được nhiều loại nhiễu khác nhau tồn tại trong dữ liệu của cảm biến quán tính, cũng có thể sử dụng phương sai Allan để xác định các nhiễu nội tại trong một hệ thống như là một hàm trung bình cộng của thời gian. Các kết quả từ phương pháp này có liên quan đến các loại nhiễu cơ bản phù hợp với dữ liệu cảm biến quán tính gồm: nhiễu lượng tử hóa “Quantization Noise”, bước góc ngẫu nhiên “Angle Random

Walk”, nhiễu tương quan “Correlated Noise”, nhiễu sin “Sinusoidal”, bất ổn độ lệch “Bias Instability”, tỷ lệ bước ngẫu nhiên “Rate Random Walk” và tỷ lệ tín hiệu răng cưa “rate ramp” (Allan, 1975).

## 2. Phương pháp luận

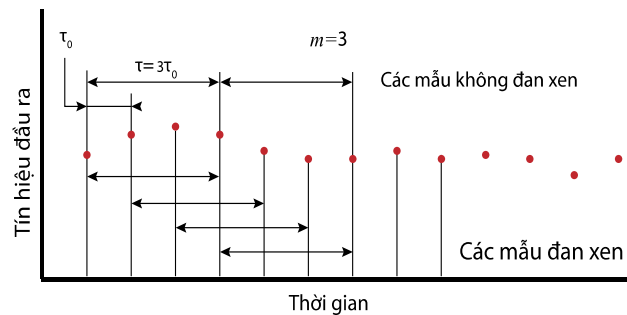
### 2.1. Cơ sở lý thuyết

Giả sử tín hiệu đầu ra của cảm biến là một hàm của chuỗi dữ liệu liên tiếp có độ dài là  $N$  và tần số lấy mẫu là  $\tau_0$ .

Nếu thiết lập để chia chuỗi dữ liệu thành các cụm dữ liệu độc lập (clusters) rồi lấy trung bình với thời gian là  $\tau = m\tau_0$  sẽ tạo ra các mẫu mới đan xen nhau (Hình 1).

Giá trị của  $m$  được lấy tùy ý nhưng thỏa mãn  $m < (N - 1)/2$ . Đối với cách lấy mẫu đan xen thì thời gian giữa hai cluster liên tiếp luôn bằng chu kỳ lấy mẫu  $\tau_0$ . Sau đó thay đổi thời gian của cluster từ nhỏ đến lớn để có được một loạt phương sai liên quan đến  $\tau$ .

Đối với cách lấy mẫu không đan xen thì  $\tau$  sẽ là chu kỳ lấy mẫu cho phân đoạn.



Hình 1. Lấy mẫu theo các cụm dữ liệu

Phương sai Allan được tính theo tín hiệu đầu ra của cảm biến quán tính, là góc (đối với gyroscope) hay vận tốc (đối với accelerometer), tín hiệu đầu ra của cảm biến được tính theo Phương trình (1) và (2) (Allan, 1987)

$$\theta(t) = \int_0^t \Omega(t') dt' \quad (1)$$

$$\Omega(t, \tau) = \frac{\theta(t + m\tau_0) - \theta(t)}{m\tau_0} \quad (2)$$

trong đó:

$\theta(t)$  là góc (hay vận tốc) tại thời điểm rời rạc  $t = k\tau_0$  ( $k$  thay đổi từ 1 tới  $N$ );  $\Omega$  là chuỗi dữ liệu của cảm biến

Ví dụ: Tính 3 giá trị của  $\theta$  với  $k$  thay đổi từ 1 đến 3 mẫu. Giả sử các trị quan sát  $\Omega_k$  lần lượt là 0.007, 0.002 và 0.01. Sử dụng tổng lũy kế, các trị thu được là 0.007,  $0.007+0.002=0.009$  và  $0.007+0.002+0.01=0.019$ . Các giá trị thu được nhân với  $\tau_0$  ta có các giá trị tương ứng của  $\theta_k$  là  $\theta_1 = 0.007\tau_0, \theta_2 = 0.009\tau_0, \theta_3 = 0.019\tau_0$ .

Sau khi tính được  $N$  giá trị của  $\theta$ , phương sai Allan sẽ được tính theo Phương trình:

$$\sigma_{\Omega}^2(\tau) = \frac{1}{2\tau^2} \langle (\theta_{k+2m} - 2\theta_{k+m} + \theta_k)^2 \rangle \quad (3)$$

trong đó:

$\sigma_{\Omega}^2(\tau)$  là phương sai Allan, là một hàm theo  $\tau$  và  $\langle \rangle$  là trị trung bình trên toàn bộ các cluster. Phương trình (3) có thể được viết dưới dạng:

$$\sigma_{\Omega}^2(\tau) = \frac{1}{2\tau^2(N-2m)} \sum_{k=1}^{N-2m} (\theta_{k+2m} - 2\theta_{k+m} + \theta_k)^2 \quad (4)$$

Phương trình (4) là phương sai Allan biểu diễn một ước lượng phương sai phụ thuộc vào số lượng cluster (theo phương pháp đan xen).

Phương sai Allan là giá trị đo độ ổn định đầu ra của cảm biến. Vì thế nó liên quan chặt chẽ tới các tính chất thống kê của các quá trình ngẫu nhiên ảnh hưởng đến chất lượng của cảm biến.

Cuối cùng, lấy căn bậc hai của kết quả thu được từ Phương trình (4) sẽ được độ lệch Allan cho mỗi giá trị  $\tau$  theo Phương trình (5).

$$ADEV(\tau) = \sqrt{AVAR(\tau)} \quad (5)$$

trong đó:

$ADEV(\tau)$  là độ lệch Allan,  $AVAR(\tau)$  là phương sai Allan

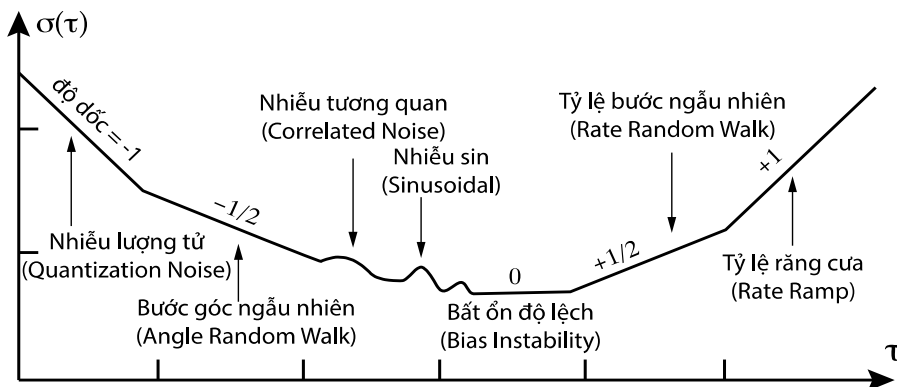
Từ Phương trình (4) có thể thấy rằng kết quả ước tính của độ lệch Allan hay phương sai Allan phụ thuộc vào giá trị trung bình  $\tau$ .

Như đã đề cập ở trên, dãy giá trị của  $\tau$  được chọn tùy ý phụ thuộc vào  $m$ . Để làm cho mối quan hệ giữa độ lệch Allan và  $\tau$  được rõ ràng hơn khi chúng thường không phải là dạng tuyến tính thì cần được thể hiện ở dạng đồ thị log-log và một đường cong phương sai Allan được hình thành. Thực nghiệm cho thấy hầu hết các trường hợp, các nhiễu khác nhau sẽ xuất hiện tại các giá trị  $\tau$  khác nhau (Hình 2).

Đối với dữ liệu thực tế sẽ có các đoạn chuyển tiếp giữa các đoạn dốc và luôn tồn tại nhiễu do sự không chắc chắn trong việc ước lượng bằng phương sai Allan.

## 2.2. Phân tích nhiễu dùng phương pháp Allan

Mục đích của việc phân tích nhiễu dùng phương pháp Allan là để xác định được các thông số đặc trưng của từng loại nhiễu, mối quan hệ giữa phương sai Allan và các thông số của bộ lọc Kalman đã trình bày ở (Van 1984).



Hình 2. Minh họa kết quả phân tích đường cong phương sai Allan

Bảng 3. Đặc tính của các nguồn sai số ngẫu nhiên của các cảm biến quán tính

Các loại nhiễu	Phương sai Allan	Hệ số nhiễu	Độ dốc của đường cong	$\tau$
Nhiều lượng tử hóa	$\frac{3Q^2}{\tau^2}$	$Q$	-1	$\sqrt{3}$
Nhiều trắng (Bước góc ngẫu nhiên; Bước vận tốc ngẫu nhiên)	$\frac{N^2}{\tau}$	$N$	$-\frac{1}{2}$	1
Tạp nhiễu nhấp nháy (Bất ổn độ lệch)	$\frac{2B^2 \ln 2}{\pi}$	$B$	0	-
Nhiều trắng (Tỷ lệ bước ngẫu nhiên)	$\frac{K^2\tau}{3}$	$K$	$+\frac{1}{2}$	3
Nhiều dốc (Tỷ lệ răng cưa)	$\frac{R^2\tau^2}{2}$	$R$	+1	$\sqrt{2}$

Các thành phần nhiễu cảm biến có thể được xác định bằng cách phân tích đồ thị log-log. Độ dốc trên đồ thị đường cong Allan sẽ thể hiện các thành phần nhiễu khác nhau. Phần lý thuyết đã được trình bày trong (Allan 1975) và (Allan 1987). Các đặc tính của các nguồn sai số ngẫu nhiên điển hình trong các cảm biến quán tính thể hiện ở Bảng 3.

### 2.3. Chất lượng ước lượng phương sai Allan

Trong thực tiễn, ước lượng của phương sai Allan là dựa trên một lượng hữu hạn các cluster độc lập được tạo ra bởi bất kỳ chuỗi dữ liệu nào. Phương sai Allan của bất kỳ một loại nhiễu nào sẽ được ước lượng với tất cả các cluster với chiều dài cho trước. Độ tin cậy của ước lượng phương sai Allan sẽ được cải thiện nếu số lượng cluster độc lập tăng lên đủ lớn. Xác định tham số  $\delta_{AV}$  như là phần trăm sai số ước lượng độ lệch Allan cho một hữu hạn cluster: theo Phương trình (6).

$$\delta_{AV} = \frac{\sigma(\tau, M) - \sigma(\tau)}{\sigma(\tau)} \quad (6)$$

trong đó:

$\sigma(\tau, M)$  là ước lượng của độ lệch Allan từ  $M$  cluster độc lập,  $\sigma(\tau, M)$  sẽ tiến đến giá trị lý thuyết  $\sigma(\tau)$  khi  $M \rightarrow \infty$ .

Sai số trung phương độ lệch Allan được xác định theo Phương trình:

$$\delta(\tau) = \frac{\sigma(\tau)}{\sqrt{M+1}} \quad (7)$$

Tính toán liên tục và kéo dài sẽ cho ra phần trăm sai số ước lượng độ lệch Allan theo Phương trình:

$$\sigma(\delta_{AV}) = \frac{1}{\sqrt{2\left(\frac{N}{m} - 1\right)}} \quad (8)$$

trong đó:  $m$  là số điểm dữ liệu trọng mỗi cluster.

Phương trình (8) cho thấy sai số ước lượng với chiều dài cluster càng ngắn (hoặc càng dài) thì các cluster độc lập sẽ càng tăng (hoặc càng giảm). Ví dụ có 20 nghìn mẫu dữ liệu, nếu chiều dài của một cluster là 5 nghìn thì sai số ước lượng là 41%, nếu mỗi cluster chỉ có kích thước là 100 thì sai số ước chỉ còn 5%

### 3. Môi trường thực nghiệm

Các cảm biến quán tính trên iPhone 6 Plus với hệ điều hành iOS 9.3 gồm cảm biến gia tốc và cảm biến vận tốc góc (InvenSense MP67B) sẽ tham gia vào việc ước lượng phương sai Allan trong việc mô hình hóa tạp nhiễu của cảm biến quán tính.

Thực nghiệm được diễn ra trong điều kiện nhiệt độ 25°C tại phòng thí nghiệm Địa tin học của Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Dữ liệu với thời lượng 5 giờ ổn định được lấy ra từ dữ liệu tĩnh thu thập trong thời lượng 8 giờ để dùng cho việc phân tích.

#### 4. Kết quả thực nghiệm

Hình 3 và Hình 4 thể hiện đường cong độ lệch Allan của các cảm biến quán tính trong iPhone 6 Plus. Đơn vị của cảm biến gia tốc là  $g$ , ( $1g \approx 9.81m/s^2$ ), đơn vị bước vận tốc ngẫu nhiên tương ứng của cảm biến gia tốc quy ước trong tầng quán tính là  $m/s/\sqrt{h}$ . Việc chuyển đổi đơn vị này sang đơn vị theo hệ mét chuẩn như sau:

$$1m/s/\sqrt{h} = 1m/s/\sqrt{3600s} = (1/60)m/s^2/\sqrt{Hz}$$

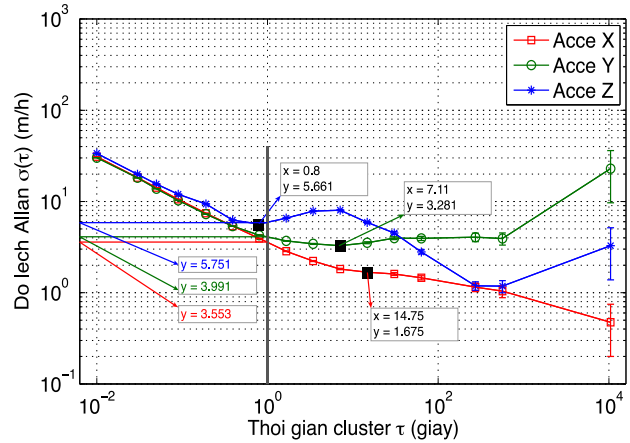
Đơn vị của Gyroscope là  $rad/s$ , đơn vị bước góc ngẫu nhiên tương ứng của cảm biến vận tốc góc quy ước trong tầng quán tính là  $deg/\sqrt{h}$ . Việc chuyển đổi đơn vị này sang đơn vị theo hệ mét chuẩn như sau:

$$1deg/\sqrt{h} = 1\pi/180rad/\sqrt{3600s} = (\pi/10800)rad/s/\sqrt{Hz}$$

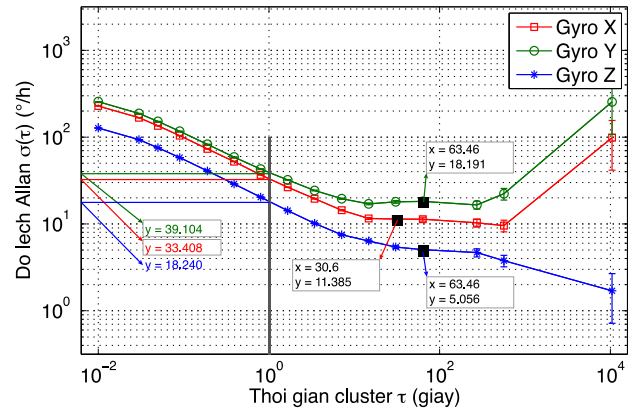
Dữ liệu được thử nghiệm có chiều dài là 2 390.000, sai số ước lượng phương sai Allan thay đổi từ 0.05% đến 62.52% phụ thuộc giá trị giá trị của  $\tau$ .

Sự thể hiện đường cong Allan ở Hình 3 và Hình 4 cho thấy rõ nhiễu trắng là tạp nhiễu nổi trội đối với các giá trị  $\tau$  nhỏ. Các đường cong có độ dốc  $-\frac{1}{2}$  phù hợp với các giá trị  $\tau$  nhỏ. Đối với trục z của cảm biến gia tốc xuất hiện đường cong có độ dốc  $+\frac{1}{2}$  cho thấy nhiễu tỉ lệ bước ngẫu nhiên cũng xuất hiện nổi trội.

Kết quả tính toán độ lệch Allan của cảm biến quán tính trong iPhone 6 Plus tại mỗi giá trị  $\tau$  khác nhau thể hiện ở Bảng 4 và tại các giá trị  $\tau$  đặc trưng được thể hiện ở Bảng 5.



Hình 3. Đường cong Allan của Accelerometer trong iPhone 6 Plus



Hình 4. Đường cong Allan của Gyroscope trong iPhone 6 Plus

#### 5. Kết luận

Phương pháp Allan trình bày trong bài báo cho phép mô tả một cách hệ thống các đặc trưng của các nhiễu ngẫu nhiên chứa trong dữ liệu đầu ra của cảm biến. Dựa vào đường cong đặc trưng thiết lập từ phép phân tích chuỗi dữ liệu trong miền thời gian, có thể dễ dàng xác định các kiểu và mức độ của từng loại nhiễu tồn tại trong dữ liệu đầu ra của cảm biến. Dữ liệu với thời lượng 5 giờ ổn định thu thập từ iPhone 6 Plus được sử dụng cho việc phân tích. Kết quả của phép phân tích phương sai Allan đã xác định được 5 loại nhiễu cơ bản, đồng thời phát hiện được nhiễu bước vận tốc ngẫu nhiên xuất hiện nổi trội ở trục z của cảm biến gia tốc phù hợp với kết quả thực nghiệm, điều này chứng tỏ phương pháp được lựa chọn là hiệu quả.

Bảng 4. Độ lệch Allan của các cảm biến trong iPhone 6 Plus

$\tau$	Accelerometer (m/s/h)						Gyroscope ( $^{\circ}$ /h)					
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$
0.01	31.030	30.135	33.680	0.020	0.019	0.022	228.528	256.558	127.336	0.148	0.166	0.082
0.03	18.252	18.191	19.883	0.020	0.020	0.022	167.511	187.529	93.535	0.188	0.210	0.105
0.05	14.187	13.806	15.512	0.021	0.020	0.022	135.406	151.688	75.489	0.196	0.219	0.109
0.09	10.578	10.291	12.001	0.021	0.020	0.023	104.103	116.856	58.124	0.202	0.227	0.113
0.19	7.429	7.269	9.381	0.021	0.020	0.026	73.333	82.706	40.859	0.207	0.233	0.115
0.39	5.376	5.368	6.253	0.022	0.022	0.025	52.303	58.952	28.866	0.211	0.238	0.117
0.8	3.939	4.268	5.661	0.023	0.025	0.033	36.758	42.944	20.402	0.213	0.248	0.118
1.66	2.851	3.695	6.561	0.024	0.031	0.055	26.543	32.147	14.258	0.221	0.268	0.119
3.43	2.224	3.434	7.850	0.027	0.041	0.094	19.573	24.293	10.179	0.234	0.291	0.122
7.11	1.819	3.281	8.030	0.031	0.057	0.138	14.418	19.549	7.519	0.249	0.337	0.130
14.75	1.675	3.529	5.909	0.042	0.088	0.147	11.587	17.038	6.381	0.288	0.423	0.158
30.6	1.606	3.964	4.512	0.057	0.142	0.161	11.384	17.989	5.421	0.407	0.643	0.194
63.46	1.459	3.941	2.797	0.075	0.203	0.144	11.361	18.191	5.056	0.585	0.937	0.260
273.05	1.151	4.067	1.189	0.123	0.434	0.127	10.300	16.564	4.681	1.098	1.766	0.499
566.38	1.041	3.925	1.179	0.159	0.599	0.180	9.579	22.280	3.781	1.461	3.398	0.577
10485.77	0.474	22.900	3.275	0.274	13.221	1.891	98.649	254.844	1.700	56.955	147.134	0.981

Bảng 5. Độ lệch Allan của các cảm biến trong iPhone 6 Plus tại các giá trị đặc trưng

Hệ số nhiễu	$\tau$	Accelerometer (m/s/h)						Gyroscope ( $^{\circ}$ /h)					
		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$
N	1	3.553	3.991	5.751	3.553	3.991	5.751	33.408	39.104	18.240	0.216	0.253	0.118
R	$\sqrt{2}$	3.090	3.775	6.237	3.090	3.775	6.237	28.711	34.401	15.440	0.221	0.264	0.119
Q	$\sqrt{3}$	2.838	3.682	6.664	2.838	3.682	6.664	26.120	31.802	14.025	0.222	0.270	0.119
K	3	2.276	3.446	7.719	2.276	3.446	7.719	20.679	26.005	10.843	0.231	0.291	0.121
B	---	1.675	3.281	5.661	0.044	0.123	0.629	11.385	18.191	5.056	0.206	0.228	0.063

Kết quả phân tích dữ liệu đã xác định một cách định lượng các thành phần nhiễu ngẫu nhiên chứa đựng trong dữ liệu đầu ra của cảm biến quán tính trên iPhone 6 Plus. Các thông số này sẽ được sử dụng trực tiếp để tính toán các ma trận hiệp phương sai trong bộ lọc Kalman nhằm hiệu chuẩn giá trị đầu ra của các cảm biến.

Tuy nhiên để có thể xây dựng một hệ thống dẫn đường quán tính có độ ổn định và tin cậy cao, cần phải nghiên cứu chi tiết mức độ ảnh hưởng của từng thành phần cũng như ảnh hưởng kết hợp của các thành phần nhiễu đối với hệ thống dẫn đường quán tính. Ngoài

ra cần tiến hành thực nghiệm trên nhiều thiết bị iPhone để kiểm tra độ ổn định của cảm biến quán tính trên thiết bị này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Allan, D. W. (1975). The Measurement of Frequency and Frequency Stability of Precision Oscillators. *NBS Technical Note*, 669:1-27.
- Allan, D. W. (1987). Time and frequency (time domain) characterization, estimation and prediction of precision



- clocks and oscillators. *IEEE trans. UFFC-34*, 6:647-654.
- Dierendonck, V., André, J., and McGraw, J. B., and Brown, R. G. (1984). Relationship between Allan variances and Kalman filter parameters. *Stanford Telecommunications Inc*, Santa Clara, CA.
- El-Sheimy, N., Hou, H. Y., and Niu, X. O. (2008). Analysis and Modeling of Inertial Sensors Using Allan Variance. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 57(1):140-149.
- Hou, H., and El-Sheimy, N. (2003). Inertial Sensors Errors Modeling Using Allan Variance. *Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Portland, OR, USA, 9-12, pp. 2860-2867.
- <http://goo.gl/yjdSrn>, MPU-6050 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS Motion Tracking™ Devices (ngày truy cập 4/4/2016).
- <https://goo.gl/rpwCaC>, Inside the iPhone 6 and iPhone 6 Plus (ngày truy cập 28/12/2015).
- Tröbs, M., and Heinzl, G. (2006). Improved spectrum estimation from digitized time series on a logarithmic frequency axis. *Measurement* 39(2):120-129.

## ABSTRACT

### Analysis and Modeling of Inertial Sensor of the iPhone Using Allan Variance

Chuyen Trung Tran<sup>1</sup>, Dung Mai Thi Nguyen<sup>1</sup>, Anh Hong Le<sup>1</sup>, Xuan Truong Nguyen<sup>1</sup>, Long Ngoc Dao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam institute of Geodesy and Cartography, Vietnam

The Allan variance method can be used to determine the characteristics of the underlying random processes that give rise to the data noise. This technique can be used to characterize various types of error terms in the inertial-sensor data by performing certain operations on the entire length of data. In this paper, the theoretical basis of the Allan variance for modeling the inertial sensors' error terms and its implementation in iPhone 6 Plus were presented. The five-day static data from the iPhone 6 Plus were investigated. The results of the data analysis indicated that white noise was the dominant noise for the short cluster times. It also shows that in z-axis accelerometer, rate random walk was the dominant noise. The results from this paper clearly shows that the Allan variance is a powerful technique to investigate the sensor error behaviors on different timescales.