

Інтегрована інерціально-супутникова система навігації, що базується на принципах комплексної обробки інформації з використанням калманівської фільтрації

Микола Новік

28 січня 2011 р.

# Зміст доповіді

- 1 Постановка задачі та вибір системи
  - Постановка задачі та вибір системи
  - Вибір варіанту комплексування ІНС
  - Схема комплексування ІНС
- 2 Модель системи
  - Алгоритми роботи БІНС
  - Рівняння похибок БІНС
  - Матриця динаміки БІНС
  - Рівняння похибок СНС та БВ
  - Рівняння ІНСН в просторі станів
  - Еволюція похибок стаціонарно закріпленої БІНС
  - Сумарна похибка стаціонарно закріпленої БІНС
  - Траєкторія руху ЛА тільки за БІНС
  - Навігаційний фільтр Калмана
  - Траєкторія руху ЛА
- 3 Результати моделювання ІНС
  - Похибка оцінки по координаті
  - Похибка оцінки по швидкості
  - Похибка оцінки по орієнтації
  - Похибка оцінки дрейфів гіроскопів
  - Похибка оцінки зміщення акселерометрів
  - Похибка оцінки курсу, крена, тангажа
  - Сходимість коваріацій параметрів
  - Траєкторія руху ЛА за БІНС і ФК
  - Середньоквадратичні відхилення
- 4 Програмне забезпечення
  - Інтерфейс програми
- 5 The End

# Постановка задачі комплексування

**Постановка задачі**: дослідження можливостей комплексування навігаційної інформації двох систем, що є на борту сучасного літака: безплатформенної інерціальної навігаційної системи і супутникової високоточної навігаційної системи.

В результаті комплексування ІНС та СНС досягаються:

- 1 підвищення точності визначення координат, висоти, швидкості і часу споживача;
- 2 уточнення кутів орієнтації (курсу, крену і тангажа);
- 3 оцінка й уточнення параметрів калібрування навігаційних датчиків, таких, як дрейфи гіроскопів, масштабні коефіцієнти, зсуви акселерометрів тощо;
- 4 забезпечення на цій основі безперервності навігаційних визначень на всіх етапах руху, у тому числі і при тимчасовій непрацездатності приймача СНС у випадках впливу завад або енергійних маневрів ЛА.

# Варіанти інтегрування ІСНС

## Роздільна

Надмірність, обмеженість похибок оцінок місця розташування і швидкості, наявність інформації про орієнтацію і кутову швидкість, висока швидкість видачі інформації, мінімальні зміни в бортовій апаратурі

## Слабко зв'язана

Усі перераховані особливості роздільних систем, плюс більш швидке відновлення слідування за кодом і фазою сигналів СНС, виставлення та калібрування ВІНС у польоті, як наслідок – підвищена точність під час відсутності сигналу СНС

## Жорстко зв'язана

Подальше поліпшення точності і калібрування, підвищена стійкість слідування за сигналами СНС при маневрах ЛА, підвищена завадостійкість

## Глибоко інтегрована

Єдиний фільтр усуває проблему “каскадного” включення фільтрів, компактність, знижені вимоги з енергозабезпечення. Недоліки: вектор стану містить до 40 компонентів, тому фільтр складно реалізувати; необхідність розробки спеціальних датчиків

# Схема ІНС

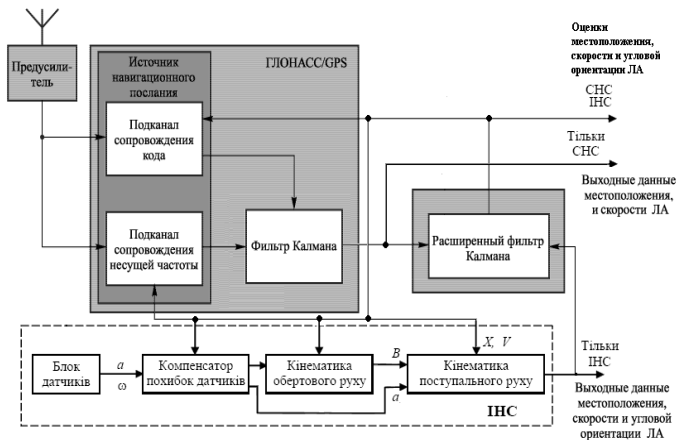


Рис.: Слабко зв'язана схема

# Алгоритми роботи БІНС

## Швидкий темп

$$\begin{aligned}\omega_{y\Sigma} &= \omega_{y\text{ЛA}} - \omega_{y\text{NHE}}; \\ \omega_{x\Sigma} &= \omega_{x\text{ЛA}} - \omega_{x\text{NHE}}; \\ \omega_{z\Sigma} &= \omega_{z\text{ЛA}} - \omega_{z\text{NHE}}; \\ \dot{\psi} &= (\omega_{y\Sigma} \cos \gamma - \omega_{z\Sigma} \sin \gamma) \sec \vartheta; \\ \dot{\gamma} &= \omega_{x\Sigma} + \operatorname{tg} \vartheta \left( \omega_{z\Sigma} \sin \gamma - \omega_{y\Sigma} \cos \gamma \right); \\ \dot{\vartheta} &= \omega_{y\Sigma} \sin \gamma + \omega_{z\Sigma} \cos \gamma; \\ \dot{\psi}_T &= -\dot{\psi}.\end{aligned}$$

## Середній темп

$$\begin{bmatrix} a_N \\ a_H \\ a_E \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} a_{x\text{ЛA}} \\ a_{y\text{ЛA}} \\ a_{z\text{ЛA}} \end{bmatrix}$$
$$\begin{aligned}\dot{V}_E &= a_E - V_N(\omega_{H_V} + 2\Omega_H) + V_H(\omega_{N_V} + 2\Omega_N); \\ \dot{V}_H &= a_H - V_E(\omega_{N_V} + 2\Omega_N) + V_N\omega_{E_V} + g_H; \\ \dot{V}_N &= a_N - V_H\omega_{E_V} + V_E(\omega_{H_V} + 2\Omega_H).\end{aligned}$$

## Повільний темп

$$\begin{aligned}\dot{\lambda} &= \frac{V_E}{(R_2 + H) \cos B}; & \omega_{E_V} &= -\dot{\varphi}; \\ \dot{\varphi} &= \frac{V_N}{R_1 + H}; & \omega_{H_V} &= \dot{\lambda} \sin \varphi; \\ \dot{H} &= V_H. & \omega_{N_V} &= \dot{\lambda} \cos \varphi; \\ & & \Omega_N &= \Omega_3 \cos \varphi; \\ & & \Omega_H &= \Omega_3 \sin \varphi.\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_{x\text{NHE}} \\ \omega_{y\text{NHE}} \\ \omega_{z\text{NHE}} \end{bmatrix} = B^T \begin{bmatrix} \omega_{N_V} + \Omega_N \\ \omega_{H_V} + \Omega_H \\ \omega_{E_V} + \Omega_E \end{bmatrix}.$$

де:

$$B = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \vartheta & \sin \psi \sin \gamma - \cos \psi \sin \vartheta \cos \gamma & \sin \psi \cos \gamma + \sin \psi \cos \vartheta \sin \gamma \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta \cos \gamma & -\cos \vartheta \sin \gamma \\ -\sin \psi \cos \vartheta & \cos \psi \sin \gamma + \sin \psi \sin \vartheta \cos \gamma & \cos \psi \cos \gamma - \sin \psi \sin \vartheta \sin \gamma \end{bmatrix}.$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{(R_1 + H)} &\approx \frac{1}{a} \left[ 1 - e^2 - \frac{H}{a} - \frac{3}{2} e^2 \sin^2 \varphi \right]; \\ \frac{1}{(R_2 + H)} &\approx \frac{1}{a} \left[ 1 - \frac{H}{a} - \frac{1}{2} e^2 \sin^2 \varphi \right]; \\ g_H &= -g \left( 1 + 5,2884 \cdot 10^{-3} \sin^2 \varphi \right) \left[ 1 - \frac{2H}{a} (1 - e \sin^2 \varphi) \right].\end{aligned}$$

## БІНС

Похибка приведеної координати:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{R}_E &= \Delta V_E(t) \cdot \frac{R_3}{R \cos \varphi(t)} + \Delta R_N(t) \frac{V_E(t) \sin \varphi(t)}{R_3 R \cos^2 \varphi(t)} - \Delta h(t) \frac{R_3 V_E(t)}{R^2 \cos \varphi(t)}; \\ \Delta \dot{R}_N &= \Delta V_N(t) \cdot \frac{R_3}{R} - \Delta h(t) \frac{R_3 V_N(t)}{R^2}; \\ \Delta \dot{h} &= \Delta V_h(t); \end{aligned}$$

Похибка швидкості:

$$\begin{aligned}\Delta \dot{V}_E &= a_N \alpha_h - a_h \alpha_N + \sum_{i=1}^3 b_{1,i} \Delta a_i - \Delta V_h U(t) \cos \varphi + \Delta V_N U(t) \sin \varphi + \\ &+ \frac{\Delta R_N}{R_3} (U(t) (V_h \sin \varphi + V_N \cos \varphi)) - \left( \frac{\Delta V_E}{R \cos \varphi} + \frac{V_E \sin \varphi}{R \cos^2 \varphi} \frac{\Delta R_N}{R_3} \right) \times \\ &\times (V_h \cos \varphi - V_N \sin \varphi) + \frac{\Delta h V_E}{R^2} (V_h - V_N \tan \varphi); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \dot{V}_N &= -a_E \alpha_h + a_h \alpha_E + \sum_{i=1}^3 b_{2,i} \Delta a_i - \Delta V_E U(t) \sin \varphi - \Delta V_h \dot{\varphi}(t) - \\ &- \frac{\Delta R_N}{R_3} V_E U(t) \cos \varphi - \frac{\Delta V_N}{R} V_h - \left( \frac{\Delta V_E}{R \cos \varphi} + \frac{V_E \sin \varphi}{R \cos^2 \varphi} \frac{\Delta R_N}{R_3} \right) V_E \sin \varphi + \\ &+ \frac{\Delta h}{R^2} (V_E^2 \tan \varphi + V_N V_h); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta \dot{V}_h &= a_E \alpha_N - a_N \alpha_E + \sum_{i=1}^3 b_{3,i} \Delta a_i + \Delta V_E U(t) \cos \varphi + \Delta V_N \dot{\varphi}(t) - \\ &- \frac{\Delta R_N}{R_3} V_E U(t) \sin \varphi + \frac{\Delta V_N}{R} V_N + \left( \frac{\Delta V_E}{R \cos \varphi} + \frac{V_E \sin \varphi}{R \cos^2 \varphi} \frac{\Delta R_N}{R_3} \right) V_E \cos \varphi + \\ &+ g_e \left( -\frac{2\Delta h}{a} + \frac{3}{2} e^2 \sin \varphi \cos \varphi \frac{\Delta R_N}{R_3} \right) - \frac{\Delta h}{R^2} (V_E^2 + V_N^2), \end{aligned}$$

Похибка координатного тригранника:

$$\begin{aligned}\dot{\alpha}_E &= -\omega_N \alpha_h + \omega_h \alpha_N - \frac{\Delta V_N}{R} - \sum_{i=1}^3 b_{1,i} \varepsilon_i, \\ \dot{\alpha}_N &= -\omega_h \alpha_E + \omega_E \alpha_h + \frac{\Delta V_E}{R} - u \sin \varphi \frac{\Delta R_N}{R_7} - \sum_{i=1}^3 b_{2,i} \varepsilon_i, \\ \dot{\alpha}_h &= -\omega_E \alpha_N + \omega_N \alpha_E + \frac{\Delta V_E}{R} \tan \varphi + (u \cos \varphi + \frac{V_E}{R \cos^2 \varphi}) \frac{\Delta R_N}{R_7} - \sum_{i=1}^3 b_{3,i} \varepsilon_i, \end{aligned}$$

# Матриця динаміки БІНС

$$F_{p,k} = \begin{pmatrix} \cdot & \frac{\dot{\lambda}}{R_3} tg\varphi; & \frac{-\dot{\lambda}R_3}{R} & \frac{R_3}{R \cos \varphi} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \frac{-\dot{\varphi}R_3}{R} & \cdot & \frac{R_3}{R} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \\ \cdot & \frac{2u+\dot{\lambda}}{R_3} (V_h \sin \varphi + V_N \cos \varphi) & \frac{V_E}{R^2} (V_h - V_N tg\varphi) & \frac{V_N \sin \varphi - V_h \cos \varphi}{R \cos \varphi} & (2u + \dot{\lambda}) \sin \varphi & -(2u + \dot{\lambda}) \cos \varphi \\ \cdot & -\frac{\dot{\lambda}}{R_3} tg\varphi (V_h \cos \varphi - V_N \sin \varphi) & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & -\frac{2u+\dot{\lambda}}{R_3} V_E \cos \varphi - \frac{V_E^2}{RR_3} tg^2 \varphi & \frac{V_E^2 tg\varphi + V_h V_N}{R^2} & - (2u + \dot{\lambda}) \sin \varphi; & -\frac{V_h}{R} & -\dot{\varphi}(t) \\ \cdot & -2u \frac{V_E \sin \varphi}{R} + \frac{3g_e}{2R_3} e^2 \sin \varphi \cos \varphi & -\frac{2g_e}{a} - \frac{V_E^2 + V_N^2}{R^2} & (2u + \dot{\lambda}) \cos \varphi & \dot{\varphi}(t) + \frac{V_N}{R} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -\frac{1}{R} & \cdot \\ \cdot & -\frac{u}{R} \sin \varphi & \cdot & \frac{1}{R} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \frac{1}{R_7} (u \cos \varphi + \frac{\dot{\lambda}}{\cos \varphi}) & \cdot & \frac{tg\varphi}{R} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & -a_h & a_N & \cdot & \cdot & \cdot & b_{1,1} & b_{1,2} & b_{1,3} \\ a_h & \cdot & -a_E & \cdot & \cdot & \cdot & b_{2,1} & b_{2,2} & b_{2,3} \\ -a_N & a_E & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & b_{3,1} & b_{3,2} & b_{3,3} \\ \cdot & \omega_h & -\omega_N & -b_{1,1} & -b_{1,2} & -b_{1,3} & \cdot & \cdot & \cdot \\ -\omega_h & \cdot & \omega_E & -b_{2,1} & -b_{2,2} & -b_{2,3} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \omega_N & -\omega_E & \cdot & -b_{3,1} & -b_{3,2} & -b_{3,3} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix};$$



# Рівняння похибок СНС та БВ

## СНС

Помилки СНС:

$$\Delta R_{Es,k} = \Delta R_{Ec,k} + \frac{\sigma_{Rs}}{\cos \varphi_k} \eta_{REs,k} + \frac{\sigma_{\delta Rs}}{\cos \varphi_k} \eta_{\delta RE,k};$$

$$\Delta R_{Ns,k} = \Delta R_{Nc,k} + \sigma_{Rs} \eta_{RNs,k} + \sigma_{\delta Rs} \eta_{\delta RN,k};$$

$$\Delta H_{s,k} = \Delta H_{c,k} + \sigma_{Hs} \eta_{Hs,k} + \sigma_{\delta Rs} \eta_{\delta H,k}$$

$$\Delta V_{ls,k} = \Delta V_{lc,k} + \sigma_{Vs} \eta_{Vls,k} + \sigma_{\delta Vs} \eta_{\delta Vls,k}, \text{ при } l = E, N, H;$$

Корельовані помилки СНС:

$$\Delta R_{Ec,k} = W_R \Delta R_{Ec,k-1} + q_R \frac{\sigma_{Rc}}{\cos \varphi_k} \eta_{REc,k} + \frac{\sigma_{\delta Rc}}{\cos \varphi_k} \eta_{\delta REc,k};$$

$$\Delta R_{Nc,k} = W_R \Delta R_{Nc,k-1} + q_R \sigma_{Rc} \eta_{RNs,k} + \sigma_{\delta Rc} \eta_{\delta RNc,k};$$

$$\Delta H_{c,k} = W_R \Delta H_{c,k-1} + q_R \sigma_{Hc} \eta_{Hc,k} + \sigma_{\delta Hc} \eta_{\delta Hc,k};$$

$$\Delta V_{lc,k} = W_V \Delta V_{lc,k-1} + q_V \sigma_{Vc} \eta_{Vlc,k} + \sigma_{\delta Vc} \eta_{\delta Vlc,k}, \text{ при } l = E, N, H,$$

$$\text{де: } W_R = e^{-(\lambda_s V_{\text{III}} + \lambda_{st}) \Delta t}; q_R = [1 - \exp(-2(\lambda_s V_{\text{III}} + \lambda_{st}) \Delta t)]^{0,5};$$

$$W_V = e^{-\lambda_V \Delta t}; q_V = [1 - \exp(-2\lambda_V \Delta t)]^{0,5};$$

Матриця динаміки корельованих похибок СНС:

$$F_{sns} = \begin{pmatrix} W_R & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & W_R & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & W_R & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & W_V & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & W_V & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & W_V \end{pmatrix}$$

## БВ

Дискретна модель похибок БВ:

$$\Delta h_{c,k} = \Delta h_{c,k-1} + \sigma_{\xi A} \xi_{k-1}$$

# Система в просторі станів

## Вектор стану системи

$$\begin{bmatrix}
 \Delta R_E \\
 \Delta R_N \\
 \Delta h \\
 \Delta V_E \\
 \Delta V_N \\
 \Delta V_h \\
 \alpha_E \\
 \alpha_N \\
 \alpha_h \\
 \varepsilon_{c1} \\
 \varepsilon_{c2} \\
 \varepsilon_{c3} \\
 \Delta a_{c1} \\
 \Delta a_{c2} \\
 \Delta a_{c3} \\
 \Delta h_{BB} \\
 \Delta R_{Ec} \\
 \Delta R_{Nc} \\
 \Delta h_c \\
 \Delta V_{Ec} \\
 \Delta V_{Nc} \\
 \Delta V_{hc}
 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix}
 \text{Пом. координ. E} \\
 \text{Пом. координ. N} \\
 \text{Пом. по висоті} \\
 \text{Пом. по швидкості E} \\
 \text{Пом. по швидкості N} \\
 \text{Пом. по швидкості H} \\
 \text{Пом. тригранника E} \\
 \text{Пом. тригранника N} \\
 \text{Пом. тригранника H} \\
 \text{Дрейф гіроскопа E} \\
 \text{Дрейф гіроскопа N} \\
 \text{Дрейф гіроскопа H} \\
 \text{Дрейф акселерометра E} \\
 \text{Дрейф акселерометра N} \\
 \text{Дрейф акселерометра H} \\
 \text{Пом. баровисотоміра} \\
 \text{Кор. пом. коорд. СНС E} \\
 \text{Кор. пом. коорд. СНС N} \\
 \text{Кор. пом. коорд. СНС H} \\
 \text{Кор. пом. швид. СНС E} \\
 \text{Кор. пом. швид. СНС N} \\
 \text{Кор. пом. швид. СНС H}
 \end{bmatrix}$$

## Моедель системи в просторі станів.

$$\bar{X}_{p,k+1} = \Phi_{p,k} \bar{X}_{p,k} + G_{p,k} \bar{\xi}_k$$

Матриця динаміки системи

$$F_{p,k} = \begin{pmatrix} F_k & \cdot & \cdot \\ \cdot & F_{bv} & \cdot \\ \cdot & \cdot & F_{sns} \end{pmatrix};$$

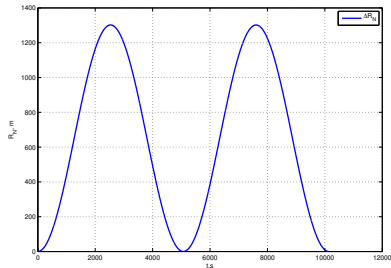
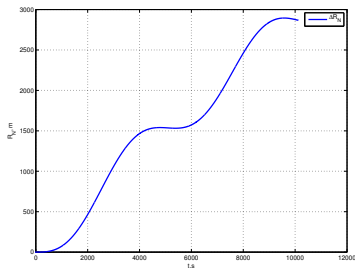
Коваріаційна матриця шумів

$$Q_{p,k} = \begin{pmatrix} Q_k & \cdot & \cdot \\ \cdot & \sigma_{BB} \sqrt{\Delta t} & \cdot \\ \cdot & \cdot & G_{s,k} \end{pmatrix};$$

Вимірювання

$$Y_k = \begin{pmatrix} \bar{h}_k - \bar{h}_{BB,k}, \\ \bar{R}_{E,K} - \bar{R}_{ES,k}, \\ \bar{R}_{N,K} - \bar{R}_{NS,k}, \\ \bar{h}_k - \bar{h}_{s,k}, \\ \bar{V}_{E,k} - \bar{V}_{ES,k}, \\ \bar{V}_{N,k} - \bar{V}_{NS,k}, \\ \bar{V}_{h,k} - \bar{V}_{hS,k}, \\ \bar{h}_{BB} - \bar{h}_{s,k} \end{pmatrix}$$

# Помилка координати стаціонарно закріпленої БІНС



**Рис.:** Еволюція похибки за умови дрейфу гіроскопа  $0.01 \text{ deg/h}$ ; Еволюція похибки за умови, похибки координатного тригранника  $10^{-3} \text{ rad}$

# Сумарна похибка стаціонарно закріпленої БІНС

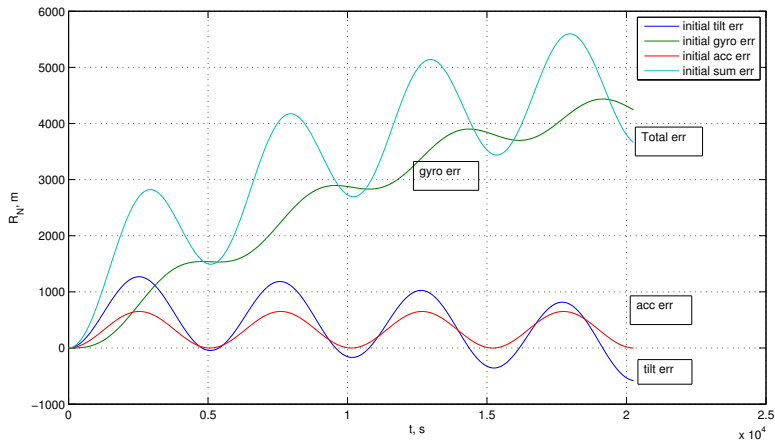
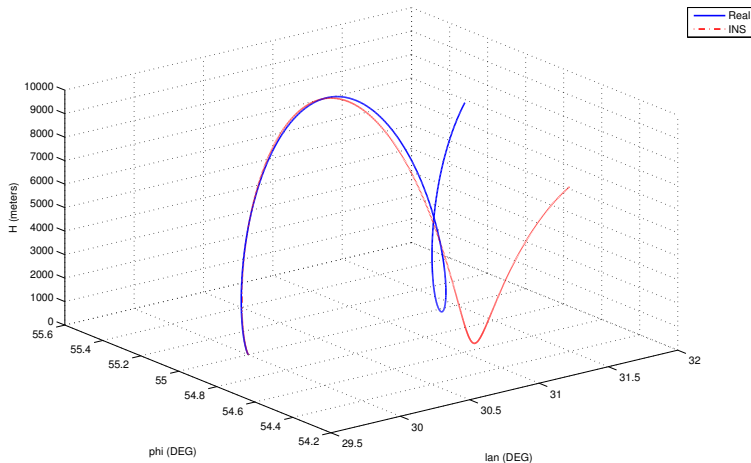
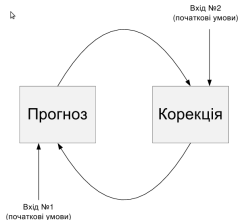


Рис.: Еволюція сумарної похибки по координаті за умови, дрейфу гіроскопа  $0.01 \text{ deg/h}$ , похибки координатного тригранника  $10^{-3} \text{ rad}$ , та зміщенням акселерометра  $10^{-4} \text{ m/s}^2$

# Траєкторія руху ЛА тільки за БІНС



# Навігаційний фільтр Калмана



## Фільтр Калмана

Прогноз:

$$\hat{X}_{p,k}(-) = \Phi_{p,k-1} \hat{X}_{p,k-1}(+),$$

$$P_k(-) = \Phi_{p,k-1} P_{k-1}(+) \Phi_{p,k-1}^T + G_{p,k-1} G_{p,k-1}^T;$$

Корекція:

$$\hat{X}_{p,k}(+) = \hat{X}_{p,k}(-) + K_k (\bar{Y}_k - H \hat{X}_{p,k}(-))$$

$$P_k(+) = (E - K_k H) P_k(-) (E - K_k H)^T + K_k Q_{p,k} Q_{p,k}^T K_k^T$$

Коефіцієнт Калмана:

$$K_k = P_k(-) H^T (H P_k(-) H^T + Q_{p,k} Q_{p,k}^T)^{-1}$$

# Траєкторія руху ЛА та кути крену, курсу і тангажа

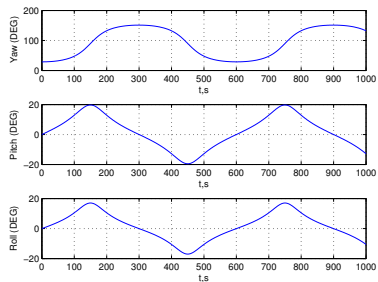
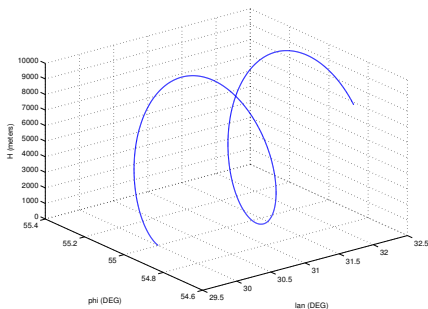
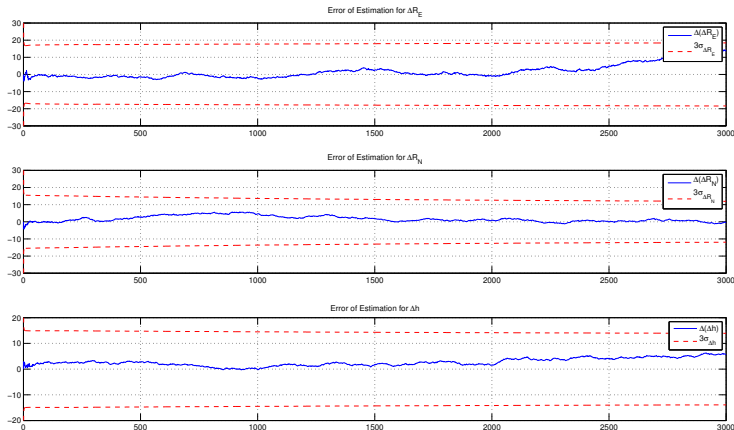


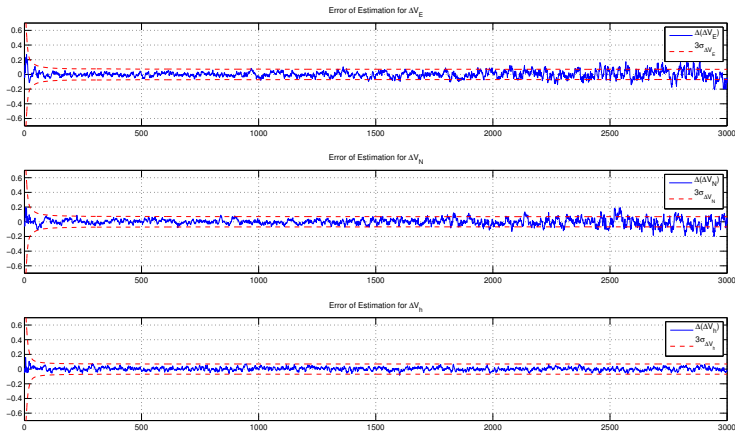
Рис.: Траєкторія руху ЛА та його кути орієнтації

# Похибка оцінки по координаті

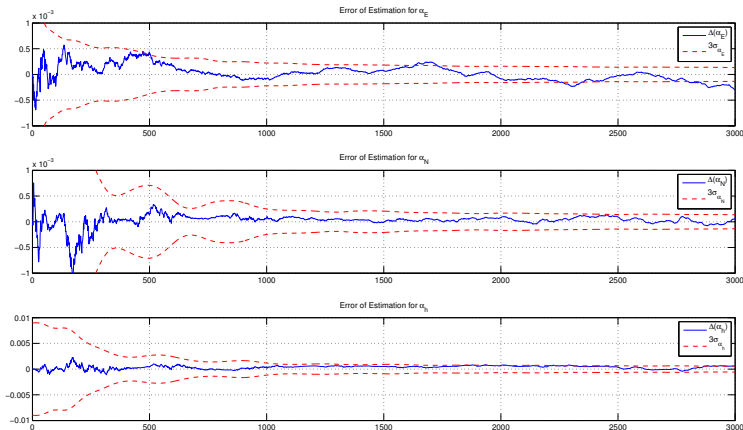




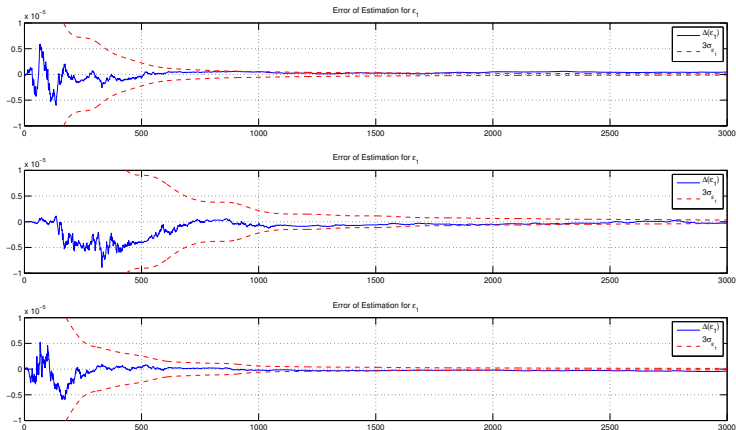
# Похибка оцінки по швидкості



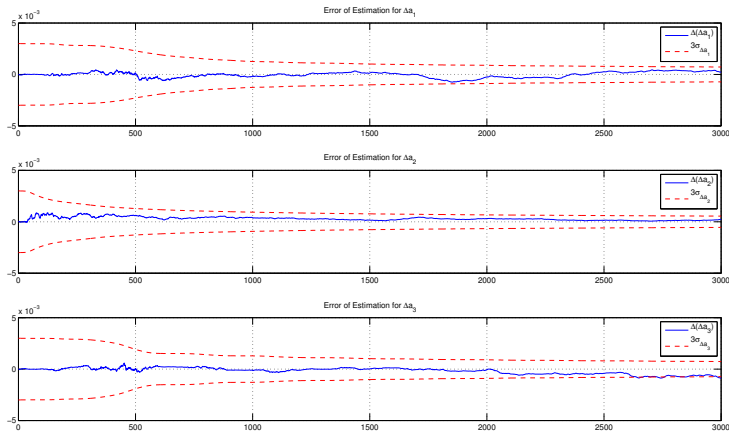
# Похибка оцінки по орієнтації



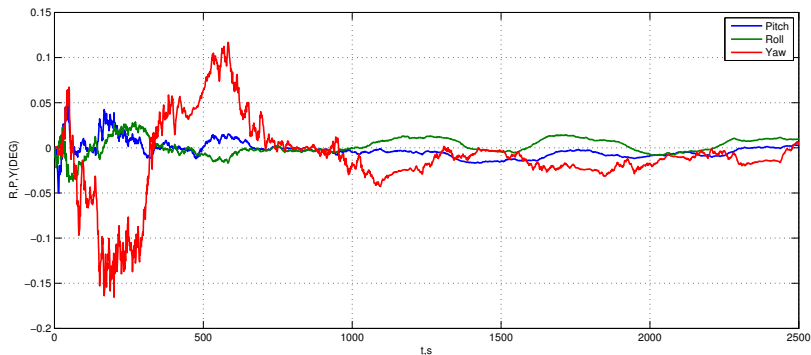
# Похибка оцінки дрейфів гіроскопів



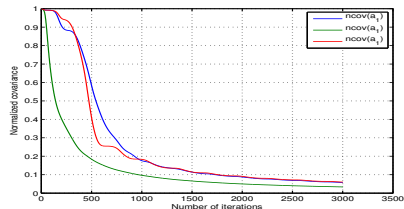
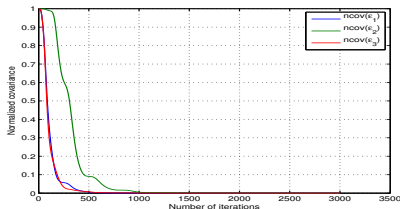
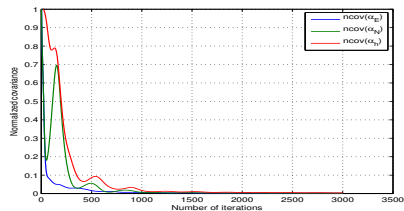
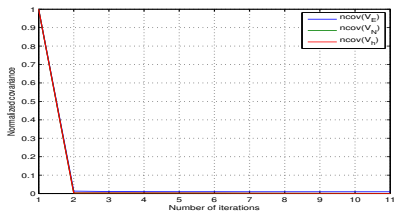
# Похибка оцінки зміщення акселерометрів



# Похибка оцінки курсу, крена, тангажа



# Сходимость ковариаций параметров



**Рис.:** Сходимость нормализованных ковариаций скоростей, ориентации, дрейфу гироскопов та зміщення акселерометрів

# Траєкторія руху за БІНС і ФК

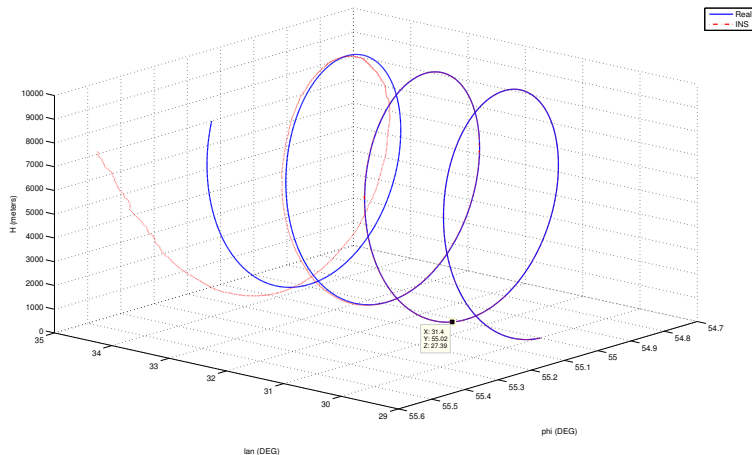


Рис.: Траєкторія руху ЛА за БІНС і ФК

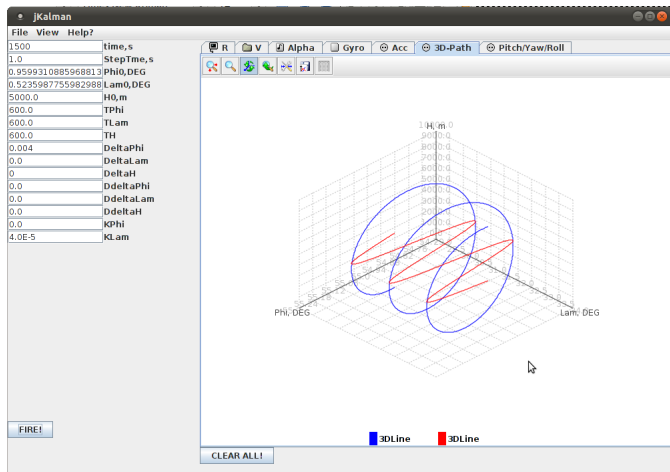
# Середньоквадратичні відхилення

## СКВ похибок оцінювання

N	East	North	Height
Координати, м	5.8792050244	4.6476224404	4.8677711489
Швидкості, м/с	0.0236254078	0.0235478062	0.0231813797
Орієнтація, рад	8.42E-005	0.000133569	0.0004735418
Дрейф ДКШ, рад/с	2.50E-007	1.28E-006	3.80E-007
Акселером, g	0.00005007264	0.0000344999	0.00004686141



# Інтерфейс програми



```
sudo rm -rf /
```

Дякую за увагу!