

УДК 624.31

О.С. Петренко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ІОНОСФЕРНОЇ ЗАТРИМКИ В ОДНОЧАСТОТНІЙ АПАРАТУРІ КОРИСТУВАЧА ГЛОБАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ІНФОРМАЦІЇ ВІД МЕРЕЖІ КОНТРОЛЬНО-КОРЕКТУЮЧИХ СТАНЦІЙ

Запропоновано спосіб і систему адаптивної компенсації іоносферної погрішності навігаційних визначень в одночастотній апаратурі користувача, яка заснована на використанні інформації від мережі контрольно-коректуючих станцій та в якій одночасно з квазірегулярною компонентою іоносферної погрішності в вимірюванні псевдодальності адаптивно компенсується також корельована флуктуаційна складова даної погрішності.

Ключові слова: супутникові радіонавігаційні системи, контрольно-коректуюча станція, іоносферна затримка, адаптивна компенсація, просторово-часова кореляція.

Вступ

Постановка проблеми. В теперішній час для вирішення багатьох прикладних завдань великого значення набуває проблема високоточних навігаційно-часових визначень за інформацією від супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). Неоднорідність діелектричної проникності іоносфери викликає викривлення траєкторії навігаційного сигналу, що призводить до додаткових затримок його поширення від навігаційного супутника (НС) до приймача, які зазвичай перераховуються в поправки до псевдодальностей і оцінюються величинами, що лежать в межах від 5 до 150 метрів. Вклад іоносферної погрішності у визначенні вектору положення користувача складає близько 5-10 метрів [1].

Найефективнішим засобом в значенні точності навігаційно-часових визначень є режим диференціальної корекції. В основі цього методу навігації полягає відносна постійність значної частини погрішностей супутникових радіонавігаційних систем в часі й просторі. В тому числі слід відмітити, що змінність у часі і просторі стабільних складових іоносферних погрішностей, обумовлених затримкою сигналу при проходженні в іоносфері, характеризується кореляційною функцією, яка має часові та просторові радіуси кореляції на рівні відповідно декількох годин і тисяч кілометрів.

В локальному диференційному методі (Local Differential LDGPS) [2] працює одна базова станція, яка обслуговує усі найближчі мобільні приймачі на відстанях до 300 - 500 км (при кодових визначеннях). Падіння точності із-за зменшення кореляції між помилками у міру видалення мобільних приймачів від базової станції привело до ідеї використання мережі базових станцій. У цьому методі за даними мережі базових станцій створюється просторово-часова модель поправок, тобто враховуються

повільні зміни в поправках. На цьому заснована робота в широкозонному диференціальному методі (Wide Area DGPS, WADGPS), де розмір області, що обслуговується, може досягати 5000 км. Сталий традиційний підхід до реалізації диференціального методу навігаційних визначень по сигналах СРНС GPS і ГЛОНАСС з використанням окремих контрольних станцій досить досліджений з точки зору ефективності компенсації основних джерел погрішностей навігаційних визначень. Проте, досвід його реалізації не дає однозначної відповіді на питання про те, як оптимально використати результати вимірів інформаційно пов'язаних декількох контрольно-коректуючих станцій (ККС) або мережі ККС

Тому виникає задача розробки методичного підходу до використання інформації мережі ККС в конкретному регіоні для адаптивної компенсації іоносферної затримки в одночастотній апаратурі користувача.

Аналіз основних публікацій. Аналіз публікацій за тематикою випробувань сучасних РЛС показав наявність методів обробки інформації від мережі ККС, які і в більшості спрямовані на адаптивне уточнення моделі іоносфери Клобушара.

В роботі [3] запропоновано універсальний методичний підхід до оптимальної реалізації регіональних і локальних мереж контрольно-коректуючих станцій (ККС), який враховує необхідність інформаційної сумісності мережі та масової серійної апаратури користувачів (АК) супутникових радіонавігаційних систем, отримано статистичні оптимальні алгоритми обробки спостережень і запропоновано загальні рекомендації по обробці інформації та побудові мережі ККС.

З урахуванням того, що в системі GPS стандартний алгоритм компенсації іоносферної затримки для одночастотної апаратури користувача засновано на моделі Клобушара та при цьому іоносферна затримка

компенсується як мінімум на 50%. [4] в роботі [5] на основі модифікації моделі Клобушара запропоновано модель локального просторово-часового опису іоносферної затримки супутникових радіонавігаційних сигналів. Запропоновано адаптивний спосіб компенсації іоносферної затримки в локальному масштабі для одночастотної апаратури користувачів СРНС, який передбачає оперативну оцінку параметрів поточного локального стану іоносфери за даними двочастотних вимірювань псевдодальності і подальшого використання цих оцінок в одночастотній апаратури користувачів.

В [6] представлена методика формування адаптивних іоносферних поправок до супутникових навігаційних визначень в мобільній ККС військового призначення та приведені результати розробки алгоритмів і методів формування іоносферних корекцій, а також результати їх комплексних експериментальних досліджень.

Метою статті є розробка алгоритму адаптивної компенсації іоносферної затримки в одночастотній апаратурі користувача глобальних СРНС при використанні для визначення вектору положення об'єкту додаткової інформації від мережі контрольно-коректуючих станцій.

Виклад основного матеріалу

Розглядаючи вихід приймача користувача як основний канал, а інформацію системи диференційних станцій як просторово рознесені допоміжні канали сукупний вектор спостережень \mathbf{Y} має вигляд:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{D} + \Delta \mathbf{D}_{\text{іон}}^{\text{рег}} + \Delta \mathbf{D}_{\text{іон}}^{\text{фл}} + \boldsymbol{\xi}, \quad (1)$$

де \mathbf{D} – вектор корисного сигналу, $\Delta \mathbf{D}_{\text{іон}}^{\text{рег}}$ – вектор регулярної складової іоносферної погрішності, $\Delta \mathbf{D}_{\text{іон}}^{\text{фл}}$ – вектор флуктуаційної складової іоносферної погрішності, $\boldsymbol{\xi}$ - шумова компонента, яка обумовлена шумами апаратури навігаційних космічних апаратів (НКА), кожної з ККС системи і шумами приймача користувача.

Відносно просторово-часової залежності регулярної складової іоносферної затримки пропонується прийняти одну з відомих моделей [18, 22], наприклад, Клобушара з вектором вільних параметрів $\mathbf{\Pi}$ так, що

$$\Delta \mathbf{D}_{\text{іон}}^{\text{рег}} = \mathbf{\Phi} \mathbf{\Pi}, \quad (2)$$

де $\mathbf{\Phi}$ – матриця координатних функцій (базис), що визначається в регіональному масштабі з використанням двочастотних вимірювань мережі ККС за критерієм мінімуму середнього квадрату "нев'язки" між значеннями двочастотних іоносферних затримок та затримок, що розраховані по моделі або як середнє значення іоносферної затримки на деякі фіксовані моменти часу на регіон.

Якщо ввести позначення для випадкової складової іоносферної погрішності в сумі з шумовою $\boldsymbol{\eta} = \Delta \mathbf{D}_{\text{іон}}^{\text{фл}} + \boldsymbol{\xi}$ з нульовим середнім і коваріаційною

матрицею $\mathbf{K}_{\boldsymbol{\eta}} = \overline{\boldsymbol{\eta} \boldsymbol{\eta}^T}$, то умовну за невідомими параметрами щільність імовірності вектору спостережень \mathbf{Y} , вважаючи закон розподілу адитивної суміші іоносферної затримки з шумами апаратури нормальним, можливо представити в вигляді:

$$P(\mathbf{Y} / \mathbf{D}_{\text{п}}, \hat{\mathbf{\Pi}}, \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}) \rightarrow N(\mathbf{E} \mathbf{D}_{\text{п}} + \mathbf{\Phi} \hat{\mathbf{\Pi}}; \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}), \quad (3)$$

де $\hat{\mathbf{D}}_{\text{п}}$ – вектор, що оцінюється,

$$\mathbf{E}^T = \|\| 1 \ 0 \ \dots \ 0 \ \dots \ 0 \|\|.$$

В припущенні, того що супутні параметри $\hat{\mathbf{\Pi}}$ і $\hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}$ відомі для знаходження оцінки вектору $\hat{\mathbf{D}}_{\text{п}}$ отримано вираз:

$$P(\mathbf{Y} / \mathbf{D}_{\text{п}}, \hat{\mathbf{\Pi}}, \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}) = \text{const} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{Y} - \mathbf{E} \mathbf{D}_{\text{п}} \end{bmatrix}^T \cdot \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{Y} - \mathbf{E} \mathbf{D}_{\text{п}} \end{bmatrix} \right\}, \quad (4)$$

де $\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - \mathbf{\Phi} \hat{\mathbf{\Pi}}$.

Оцінка максимальної правдоподібності параметра $\hat{\mathbf{D}}_{\text{п}}$ може бути знайдена з виразу (4) з використанням необхідної умови екстремуму з рівняння:

$$\mathbf{E}^T \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{Y} - \mathbf{E} \mathbf{D}_{\text{п}} \end{bmatrix} = 0, \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{D}}_{\text{п}} = \frac{1}{\mathbf{E}^T \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1} \mathbf{E}} \mathbf{E}^T \hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1} (\mathbf{Y} - \mathbf{\Phi} \hat{\mathbf{\Pi}}). \quad (6)$$

Співвідношення (5) в загальному вигляді є алгоритмом адаптивної іоносферної корекції вимірювань псевдодальності користувачем за інформацією системи ККС. Однак, для отримання оцінки параметру $\hat{\mathbf{D}}_{\text{п}}$, а отже отримання кінцевого виразу для алгоритму адаптивної компенсації іоносферної затримки в одночастотній апаратурі користувача, необхідно отримати оцінки супутніх параметрів $\hat{\mathbf{\Pi}}$ і $\hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}$. Вони можуть бути знайдені на основі інформації системи наземних ККС за повчальною вибіркою.

В вираз (5) входить кореляційна матриця помилок $\hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}$, яка в блочному вигляді може бути представлена як

$$\hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{00} & \mathbf{P}^T \\ \mathbf{P} & \mathbf{K}_{\text{ККС}} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

а зворотна їй матриця $\hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1}$ в вигляді

$$\hat{\mathbf{K}}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1} = \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{00} & \mathbf{C}_{01}^T \\ \mathbf{C}_{01} & \mathbf{C}_{11} \end{bmatrix} \quad (8)$$

відповідно.

$$\mathbf{P}^T = \|\| \sigma_{\text{п}} \sigma_{1\rho_{\text{п1}}} \ \dots \ \sigma_{\text{п}} \sigma_{j\rho_{\text{пj}}} \ \dots \ \sigma_{\text{п}} \sigma_{N\rho_{\text{пN}}} \|\|, \quad (9)$$

де $\rho_{\text{пj}}$ - коефіцієнт коваріації флуктуаційних іоносферних затримок при вимірюваннях в деякий співпадаючий момент часу псевдодальностей до одного

і того ж НКА приймачем користувача та j -ю ККС відповідно, σ_{Π} – СКВ визначення флукуаційної іоносферної затримки користувачем, $\mathbf{K}_{\text{ККС}}$ – оцінка кореляційної матриці випадкової складової погрішності (з шумами) системи ККС.

$$\mathbf{K}_{\text{ККС}} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 \rho_{11} & \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} & \dots & \sigma_1 \sigma_j \rho_{1j} & \dots & \sigma_1 \sigma_N \rho_{1N} \\ \sigma_2 \sigma_1 \rho_{21} & \sigma_2^2 \rho_{22} & \dots & \sigma_2 \sigma_j \rho_{2j} & \dots & \sigma_2 \sigma_N \rho_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_j \sigma_1 \rho_{j1} & \sigma_j \sigma_2 \rho_{j2} & \dots & \sigma_j^2 \rho_{jj} & \dots & \sigma_j \sigma_N \rho_{jN} \\ \sigma_N \sigma_1 \rho_{N1} & \sigma_N \sigma_2 \rho_{N2} & \dots & \sigma_N \sigma_j \rho_{Nj} & \dots & \sigma_N^2 \rho_{NN} \end{pmatrix},$$

де ρ_{ij} – коефіцієнт коваріації флукуаційних іоносферних затримок при вимірюваннях в деякий співпадаючий момент часу псевдодальностей до одного і того ж НКА приймачами i -ої та j -ої ККС.

$\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_j, \dots, \sigma_N$ – СКВ визначення флукуаційних іоносферних затримок відповідними ККС.

Згідно [7, 8] блочні елементи, що входять в співвідношення для $\hat{\mathbf{K}}_{\Pi}$ і $\hat{\mathbf{K}}_{\Pi}^{-1}$, пов'язані між собою наступними виразами.

$$\mathbf{C}_{00}^{-1} = \sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}, \quad (10)$$

$$\mathbf{C}_{11} = (\mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} - \mathbf{P} \mathbf{P}^T \frac{1}{\sigma_0^2})^{-1}, \quad (11)$$

$$\mathbf{C}_{01}^T = -\frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \mathbf{P}^T \mathbf{C}_{11}. \quad (12)$$

Та, відповідно

$$\mathbf{E}^T \hat{\mathbf{K}}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{E} = \mathbf{E}^T \mathbf{C} \mathbf{E} = \mathbf{C}_{00}, \quad (13)$$

$$\mathbf{E}^T \hat{\mathbf{K}}_{\text{ККС}}^{-1} = \mathbf{E}^T \mathbf{C} = \begin{pmatrix} \mathbf{C}_{00} & \mathbf{C}_{01}^T \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Підставивши (11) і (12) в (5):

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_{\Pi} &= \mathbf{C}_{01}^{-1} \begin{pmatrix} \mathbf{C}_{00} & \mathbf{C}_{01}^T \end{pmatrix} (\mathbf{Y} - \Phi \hat{\Pi}) = \\ &= \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{C}_{00}^{-1} \mathbf{C}_{01}^T \end{pmatrix} (\mathbf{Y} - \Phi \hat{\Pi}). \end{aligned} \quad (15)$$

З співвідношення (15) конкретизований вираз для \mathbf{C}_{01}^T має вигляд:

$$\mathbf{C}_{01}^T = -\frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \mathbf{P}^T (\mathbf{K}_{\text{ККС}} - \mathbf{P} \mathbf{P}^T \frac{1}{\sigma_{\Pi}^2})^{-1} \quad (16)$$

Введені позначення $\mathbf{U} = \frac{\mathbf{P}}{\sigma_{\Pi}^2}$ та $\mathbf{U}^T = \frac{\mathbf{P}^T}{\sigma_{\Pi}^2}$ дозволяють за формулою Дуайра [9] отримати:

$$\begin{aligned} (\mathbf{K}_{\text{ККС}} - \mathbf{U} \mathbf{U}^T)^{-1} &= \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} + \frac{\mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{U} \mathbf{U}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{1 - \mathbf{U}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{U}} = \\ &= \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} + \frac{\mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{\sigma_{\Pi}^2 (1 - \frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P})} = \\ &= \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} + \frac{\mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} = \mathbf{C}_{11}. \end{aligned} \quad (17)$$

З урахуванням (16) отримано:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_{01}^T &= -\frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \mathbf{P}^T \left[\mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} + \frac{\mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} \right] = \\ &= -\frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \left[\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} + \frac{\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} \right] = \\ &= -\frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \left[1 + \frac{\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} \right] \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} = \\ &= \left(-\frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} - \frac{1}{\sigma_{\Pi}^2} \frac{\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} \right) \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} = \\ &= -\frac{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P} + \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}}{\sigma_{\Pi}^2 (\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P})} \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} = \\ &= -\frac{\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} = \mathbf{C}_{01}^T. \end{aligned} \quad (18)$$

З урахуванням (10) множення $\mathbf{C}_{00}^{-1} \mathbf{C}_{00}^T$ має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_{00}^{-1} \mathbf{C}_{00}^T &= \sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P} \times \\ &\times \left(-\frac{\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1}}{\sigma_{\Pi}^2 - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{P}} \right) = -\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \end{aligned} \quad (19)$$

Підставивши (19) в (15) отримано конкретизований алгоритм компенсації іоносферних погрішностей з використанням інформації від декількох наземних ККС:

$$\hat{\mathbf{D}}_{\Pi} = \begin{pmatrix} 1 & -\mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \end{pmatrix} (\mathbf{Y} - \Phi \hat{\Pi}) \quad (20)$$

або

$$\hat{\mathbf{D}}_{\Pi} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_{\Pi} - \mathbf{P}^T \mathbf{K}_{\text{ККС}}^{-1} \mathbf{Y}_{\text{ККС}} & y_{\text{ККС}} & y_{\text{ККС}} & y_{\text{ККС}} \end{pmatrix}, \quad (21)$$

$\mathbf{Y}^T = \begin{pmatrix} y_{\Pi} & \mathbf{Y}_{\text{ККС}} \end{pmatrix}$; $\mathbf{Y}_{\text{ККС}} = y_0 - \Phi_{\text{ККС}} \hat{\Pi}$; $y_{\Pi} = y_{\Pi} - \Phi_{\Pi} \hat{\Pi}$,

де Φ_{Π} – рядок координатних функцій для основного каналу (користувача), $\Phi_{\text{ККС}}$ – матриця координатних функцій для допоміжних каналів (системи ККС),

$\Phi = \begin{pmatrix} \Phi_{\Pi} \\ \Phi_{\text{ККС}} \end{pmatrix}$ – повна матриця координатних функцій

моделі регулярної складової іоносферної погрішності, $\hat{\Pi}$ – оцінка вектору параметрів регулярної складової іоносферної погрішності, $\hat{\mathbf{K}}_{\text{ККС}}$ – оцінка кореляційної матриці випадкової складової погрішності (з шумами) системи ККС, яка разом з оцінкою вектору $\hat{\mathbf{P}}$, може бути здійснена на основі аналізу просторової та часової деградації диференціальних поправок як запропоновано в [10].

Структурна схема компенсації іоносферної погрішності може бути представлена у вигляді рис. 1.

Оцінка вектору параметрів регулярної складової іоносферної погрішності $\hat{\Pi}$ (квазірегулярна складової іоносферної похибки у вимірюваннях користувача) може бути отримана на основі моделювання умов розповсюдження навігаційного сигналу в іоносфері з використанням відомих моделей, на-

приклад Клобушара, або на основі іоносферних карт міжнародного швейцарського наукового центру CODE, доступних в мережі Інтернет, або як середнє значення вертикальних іоносферних затримок у вибраному регіоні [3, 5, 6, 11].

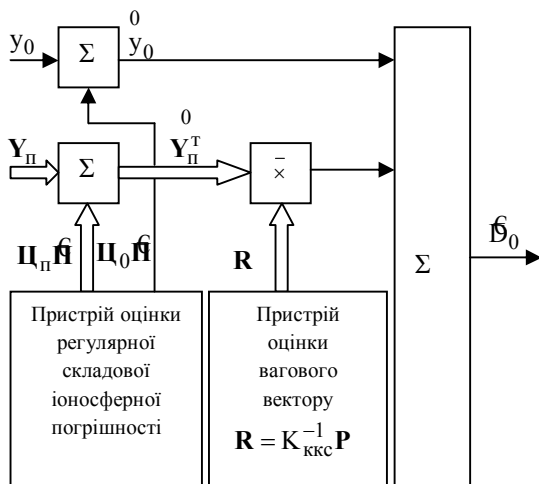


Рис. 1. Структурна схема компенсації іоносферної погрішності

Висновки

Таким чином, отримано спосіб адаптивної компенсації одночасно квазірегулярної і корельованої флюктуаційної складової іоносферної похибки у вимірюванні псевдовідстані в одночастотній апаратурі користувача, заснований на використанні інформації від мережі контрольно-коректуючих станцій.

Список літератури

1. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. – М.: ИПЖР, 1998. – 400 с.
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии Т. 2. Монография

/ ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. – 360 с.

3. Жалило А.А. Методический подход и алгоритмы реализации дифференциального метода спутниковой навигации по наблюдениям сети контрольных станций / А.А. Жалило // Космічна наука і технологія. НКА і НАН України. – 1999. – Т. 5, № 5/6. – С. 33-44.

4. Navstar GPS Space Segment / Navigation User Interfaces. Interface control document. ICD-GPS-200. – ARINC Research Corp. – 1993. – 160 с.

5. Адаптивный способ компенсации ионосферной задержки спутниковых радионавигационных сигналов в локальной пространственно-временной области на основе модели Клобушара / В.П. Деденок, А.А. Ткаченко, В.А. Кочура, В.Н. Дейнеко // Системи управління, навігації та зв'язку, вип.. 2(10) – К.: ЦНДІ НІУ, 2009. – С.22-26.

6. Методика формирования адаптивных поправок к измерениям аппаратуры ГНСС в комплексах военного назначения / В.П. Деденок, В.Н. Дейнеко, К.К. Кулагін, С.М. Флекрко // Системи управління, навігації та зв'язку, вип.. 1. – К.: ЦНДІ НІУ, 2007. – С.29-34.

7. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. - 832 с.

8. Красногоров С.И. Матричный анализ в задачах отыскания экстремумов / С.И. Красногоров. – Ногинск. - НИИЦ 30 ЦНИИ МО, 1998. - 100 с.

9. Фадеев Д. К. Вычислительные методы линейной алгебры / Д.К. Фадеев, В.Н. Фадеева. – М.: Физматгиз, 1963. – 734 с.

10. Петренко А.С. Анализ корреляционных связей флюктуационной составляющей ионосферных задержек GPS измерений при использовании дифференциального режима коррекции / А.С. Петренко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2005. – Вип. 4 (44). – С. 131-138.

11. Коваль Ю.А. Возможности снижения ионосферной составляющей погрешности синхронизации при использовании сигналов системы SBAS / Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак, А.Ф. Хуссейн // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2013. - № 1. – С.40-45.

Надійшла до редколегії 31.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.П. Деденок, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ІОНОСФЕРНОЇ ЗАДЕРЖКИ В ОДНОЧАСТОТНОЇ АПАРАТУРЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛІВ ГЛОБАЛЬНИХ СПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ІСПОЛЬЗУВАННІ ІНФОРМАЦІЇ ОТ СЕТИ КОНТРОЛЬНО-КОРРЕКТУЮЩИХ СТАНЦІЙ

А.С. Петренко

Предложен способ и система адаптивной компенсации ионосферной погрешности навигационных определений в одночастотной аппаратуре потребителей, основанная на использовании информации от сети контрольно-корректирующих станций и в которой одновременно с квазирегулярной компонентой ионосферной погрешности в измерении псевдодальности адаптивно компенсируется также коррелированная флюктуационная составляющая данной погрешности.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы, контрольно-корректирующая станция, ионосферная задержка, адаптивная компенсация, пространственно-временная корреляция.

ALGORITHM OF ADAPTIVE INDEMNIFICATION AN IONOSPHERE DELAYS IN THE ONEFREQUENCY APPARATUS OF USERS OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS AT THE USE OF INFORMATION FROM A NETWORK OF CONTROL STATIONS

A.S. Petrenko

A method and system of adaptive indemnification of ionosphere error of navigation determinations are offered in the one-frequency apparatus of users, based on the use of information from the network of the control stations and in that simultaneously with the regular component of ionosphere error in measuring of pseudorange adaptive compensated also correlated fluctuation constituent of this error.

Keywords: satellite radionavigation systems, control station, ionosphere delay, adaptive indemnification, spatio-temporal correlation.