



УКРАЇНА

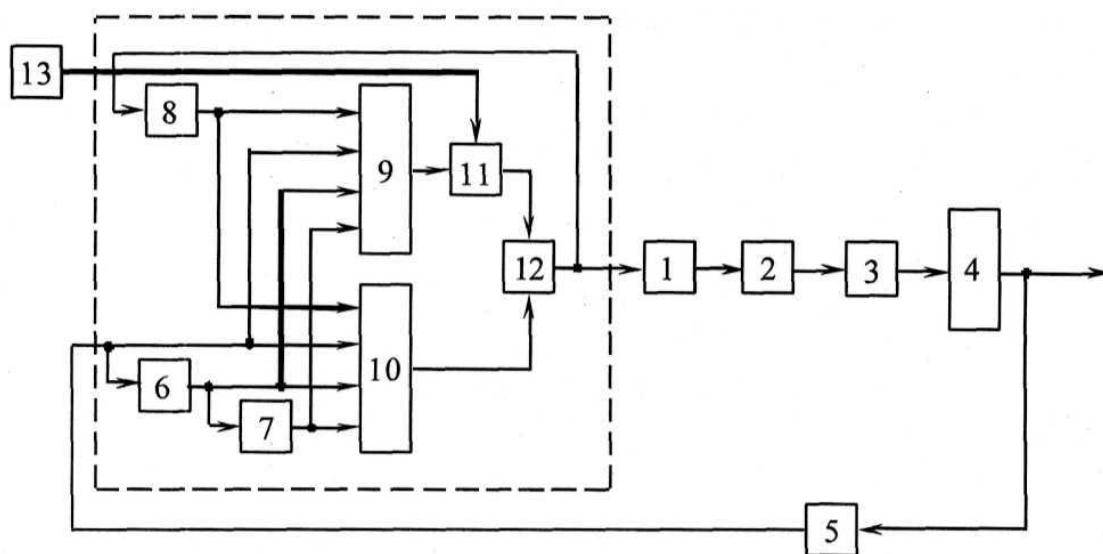
(19) **UA** (11) **110178** (13) **C2**
(51) МПК**B63H 21/21** (2006.01)**B63H 25/42** (2006.01)**G06N 3/02** (2006.01)**G06N 3/08** (2006.01)**G06F 15/18** (2006.01)**G05B 13/04** (2006.01)**B63G 8/08** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2014 12642	(72) Винахідник(и): Блінцов Сергій Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 24.11.2014	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА, просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.11.2015	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 101201 C2, 11.03.2013 RU 2519315 C2, 10.06.2014 US 2009076670 A1, 19.03.2009 US 8468108 B1, 18.06.2013 US 2007082564 A1, 12.04.2007 UA 64215 U, 25.10.2011 EP 2090507 A2, 19.08.2009 UA a201301893, 18.02.2013 WO 9116235 A2, 31.10.1991
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.03.2015, Бюл.№ 6	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.11.2015, Бюл.№ 22	

(54) СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ РУХУ ПІДВОДНОГО АПАРАТА НА БАЗІ NARMA-L2 РЕГУЛЯТОРА**(57) Реферат:**

Винахід належить до суднобудування. Система автоматичного керування швидкістю руху підводного апарата на базі NARMA-L2 регулятора містить задавач вхідного сигналу, датчик швидкості, послідовно з'єднані силовий перетворювач, електродвигун, гребний гвинт, а також підводний апарат як об'єкт керування. Передбачені обчислювачі, постачені програмами на базі штучних нейронних мереж, що відтворюють функції f() NARMA-L2-регулятора та g() NARMA-L2-регулятора. Технічним результатом є спрощення процесу налаштування нейронних мереж при одночасному виключенні з системи датчика частоти обертання гребного гвинта.

UA 110178 C2



Винахід належить до галузі суднобудування і може бути застосований на підводних апаратах (ПА), які використовують як рушій для переміщення по деякій осі координат (горизонтальний, вертикальний або лаговий рух) гребний гвинт з електричним приводом, та до яких висуваються вимоги високої точності керування швидкістю руху в умовах невизначеності параметрів ПА.

Відомо про адаптивну систему із змінною структурою для керування швидкістю руху підводного робота [Юхимец Д.А., Филаретов В.Ф., патент RU 2215318, опубл. 27.10.2003]. Такий пристрій містить послідовно з'єднані перший блок множення, перший суматор, перший релейний елемент, фільтр, блок виділення модуля, вимірник неузгодженості, ключ, другий вхід якого через другий релейний елемент приєднаний до виходу першого блока виділення модуля, інтегратор, другий суматор, другий вхід якого з'єднаний з виходом джерела еталонного сигналу й другим входом першого вимірника неузгодженості, а його вихід з'єднаний з першим входом першого блока множення, послідовно з'єднані третій суматор, перший вхід якого з'єднаний із виходом системи, другий блок виділення модуля, другий блок множення, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого релейного елемента, і четвертий суматор, а також датчик прискорення руху підводного робота, установлений на корпусі підводного робота, що підключений до другого входу першого суматора, причому другий вхід першого блока множення з'єднаний із входом другого блока виділення модуля, послідовно з'єднані третій блок виділення модуля, третій блок множення, п'ятий суматор, другий вхід якого підключений до виходу датчика швидкості руху підводного робота, установленого на корпусі підводного робота, входу третього блока виділення модуля й другому входу третього суматора, шостий суматор, другий вхід якого з'єднаний з виходом четвертого блока множення, п'ятий блок множення, сьомий суматор, підсилювач, двигун і гвинт, жорстко пов'язаний з валом двигуна, а також послідовно з'єднані датчик швидкості обертання вала двигуна, установлений на цьому валу, четвертий блок виділення модуля, восьмий суматор, шостий блок множення, дев'ятий суматор, перший нелінійний елемент, другий нелінійний елемент, вхід якого підключений до другого входу четвертого блока множення, перший блок ділення, другий вхід якого з'єднаний з виходом десятого суматора, перший вхід якого підключений до виходу п'ятого суматора й через квадратор - до другого входу дев'ятого суматора, сьомий блок множення, другий вхід якого з'єднаний з виходом четвертого блока виділення модуля, другим входом п'ятого блока множення й першим входом восьмого блока множення, вихід якого підключений до другого входу сьомого суматора, одинадцятий суматор, другий вхід якого з'єднаний з виходом шостого суматора, а третій вхід - із третім входом шостого суматора, другим входом десятого суматора, другим входом восьмого блока множення й виходом восьмого суматора, дев'ятий блок множення, другий вхід якого підключений до другого входу четвертого блока множення, другого входу третього блока множення й через третій релейний елемент - до виходу датчика швидкості обертання вала двигуна, третього входу сьомого суматора, четвертого входу одинадцятого суматора, другого входу восьмого суматора, другого входу шостого блока множення й третього входу п'ятого суматора, третій нелінійний елемент, другий блок розподілу, вихід якого з'єднаний із четвертим входом сьомого суматора, а другий вхід - з виходом дванадцятого суматора, перший вхід якого підключений до виходу четвертого суматора, а другий вхід - до виходу п'ятого блока множення й другого входу четвертого суматора. У вказаній адаптивній системі визначення керуючого сигналу проводиться на основі математичної моделі об'єкта з урахуванням нелінійностей. Основною проблемою є висока складність синтезу системи керування і визначення її коефіцієнтів, а також параметрів моделі, що унеможливорює синтез такої системи керування в умовах невизначеності цих параметрів.

Найбільш близьким аналогом є система автоматичного керування швидкістю руху підводного апарата по одній осі координат [Блінцов СВ., патент UA 101201 C2, опубл. 11.03.2001]. Такий пристрій містить задавач вхідного сигналу, датчики швидкості й частоти обертання гребного гвинта, апроксиматор залежності приросту швидкості і прискорення руху ПА від його поточного стану та значень керуючого сигналу, зв'язаний з датчиками швидкості й частоти обертання гребного гвинта і постачений програмою на базі штучних нейронних мереж, яка апроксимує вказану залежність на основі попередньо отриманих даних по швидкості і прискоренню підводного апарата, частоті обертання гребного гвинта та значеннях керуючої напруги, обчислювач керуючого сигналу, входи якого зв'язані з апроксиматором, датчиком швидкості і задавачем вхідного сигналу, а вихід - з силовим перетворювачем, послідовно з'єднані силовий перетворювач, електродвигун, гребний гвинт, а також ПА як об'єкт керування.

Така система керування може бути синтезована в умовах невизначеності параметрів математичної моделі ПА, але вона потребує складних попередніх експериментів по отриманню необхідних даних для настроювання нейронних мереж.

Ставиться задача удосконалення системи автоматичного керування швидкістю руху підводного апарата шляхом додаткового введення елементів обчислення керуючого впливу на електродвигун гребного гвинта, які не потребують спеціальних даних для налаштування, що приводить до значного спрощення попередніх експериментальних процедур по отриманню

таких даних, прискорення та спрощення синтезу системи керування в цілому.

Поставлена задача вирішується тим, що в системі автоматичного керування швидкістю руху, яка містить задавач вхідного сигналу, датчик швидкості руху ПА, послідовно з'єднані силовий перетворювач, електродвигун, гребний гвинт, а також ПА як об'єкт керування, відповідно до винаходу додатково введено перший блок затримки вихідного сигналу, зв'язаний з датчиком швидкості, другий блок затримки вихідного сигналу, зв'язаний з першим блоком затримки, блок затримки керуючого сигналу, зв'язаний з блоком ділення, перший обчислювач, зв'язаний з датчиком швидкості, першим і другим блоками затримки вихідного сигналу, блоком затримки керуючого сигналу і постачений програмою на базі штучних нейронних мереж, що відтворює функцію $f()$ NARMA-L-2-регулятора, другий обчислювач, зв'язаний з датчиком швидкості, першим і другим блоками затримки вихідного сигналу, блоком затримки керуючого сигналу і постачений програмою на базі штучних нейронних мереж, що відтворює функцію $g()$ NARMA-L-2-регулятора, суматор, зв'язаний з першим обчислювачем і задавачем вхідного сигналу, та блок ділення, зв'язаний входами з суматором і другим обчислювачем, а виходом - з силовим перетворювачем і блоком затримки керуючого сигналу.

Суть пропозиції полягає в наступному. Згідно з концепцією побудови NARMA-L-2-регуляторів (Narendra K.S., Mukhopadhyay S. Adaptive Control Using Neural Networks and Approximate Models // IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 8, 1997, pp. 475-485. [1]) вважається, що модель об'єкта можна апроксимувати рівнянням:

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n+1)] + \\ + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n+1)] \cdot u(k+1), \quad (1)$$

де $y(k)$ - вихідна координата об'єкта керування в момент часу k ; $u(k)$ - вхідна координата (керуючий сигнал).

Тоді сигнал керування, необхідний для приведення вихідної координати до значення $y(k+d)$ можна розрахувати за формулою:

$$u(k+1) = \frac{y(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n+1)]}$$

Функції $f()$ і $g()$ апроксимуються за допомогою штучних нейронних мереж, алгоритми їх роботи описані в літературі (Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. - М.: "Горячая линия - Телеком", 2002. - С. 10-20, С. 89-134 [2]). При цьому для їх навчання не потрібно проводити складний експеримент по отриманню навчальної вибірки спеціального виду. Для даного типу регулятора в системі керування ПА достатньо протягом деякого часу (до 100-200 с) подавати на вхід об'єкта керуючий сигнал, який являє собою сходинок випадкової величини (з допустимого діапазону) та випадкової довжини (в діапазоні від 1 до 10 секунд). При цьому запам'ятовуються вхідна та вихідна координати з інтервалом часу 0,01 с. По цих даних на базі персонального комп'ютера за спеціальним алгоритмом навчаються штучні нейронні мережі, які апроксимують функції $f()$ і $g()$ як складові моделі об'єкта (1). Потім параметри цих мереж прописуються у відповідні нейронні мережі у складі регулятора, після чого регулятор готовий до роботи.

Структурна схема запропонованої системи показана на рисунку.

Система автоматичного керування швидкістю руху ПА на базі NARMA-L-2 регулятора містить: послідовно з'єднані силовий перетворювач 1, виходом якого є напруга живлення електродвигуна 2, електродвигун 2, який забезпечує кутову частоту обертання ω рушія 3, рушій 3 по даній осі координат - гребний гвинт, що розвиває упор T , підводний апарат 4, як об'єкт керування; датчик 5 швидкості руху ПА по даній осі, зв'язаний з корпусом підводного апарата 4; перший блок затримки вихідного сигналу 6, зв'язаний з датчиком швидкості 5; другий блок затримки вихідного сигналу 7, зв'язаний з першим блоком затримки 6; блок затримки керуючого сигналу 8, зв'язаний з виходом блока ділення 12; перший обчислювач 9, зв'язаний входами з датчиком швидкості 5, першим 6 і другим 7 блоками затримки вихідного сигналу і блоком затримки керуючого сигналу 8; другий обчислювач 10, зв'язаний входами з датчиком швидкості 5, першим 6 і другим 7 блоками затримки вихідного сигналу і блоком затримки керуючого сигналу 8; суматор 11, зв'язаний першим входом з задавачем вхідного сигналу 13, а другим входом - з першим обчислювачем 9; блок ділення 12, зв'язаний першим входом з суматором 11, другим входом - з другим обчислювачем 10, а виходом - з силовим перетворювачем 1 і блоком затримки керуючого сигналу 8; задавач вхідного сигналу 13, вихід якого зв'язаний з суматором 11 і який задає значення швидкості ПА згідно з програмою руху. До складу системи керування

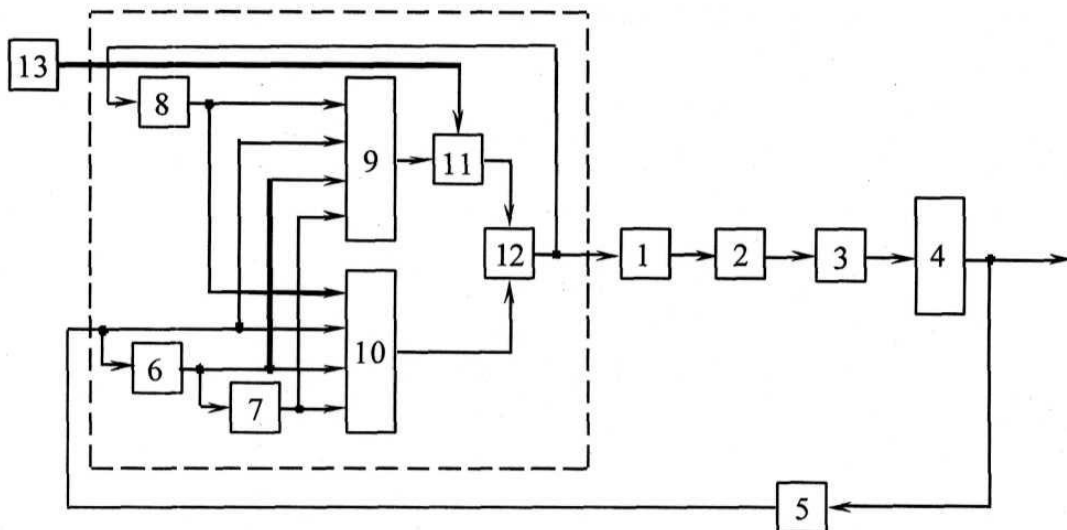
входять пристрої 6-12. Обчислювачі 9 і 10 можуть бути реалізовані програмно на базі EOM або загально відомих мікроконтролерів (Motorola, Intel, PIC-контролери).

Пропонована система працює наступним чином. З інтервалом часу t_c система керування опитує датчик 5. Цей сигнал, а також сигнали з блоків затримки 6-8, які виконують затримку сигналу на інтервал часу t_c для врахування динаміки об'єкту, надходять до обчислювачів 9 і 10, які розраховують функції $f()$ і $g()$, відповідно. В суматорі 11 виконується віднімання $f()$ від сигналу, який надійшов з задавача, результат надходить в блок ділення 12 і виконується його ділення на $g()$. В такий спосіб на виході блока ділення 12 формується сигнал керування, який вже подається на силовий перетворювач і далі на гребний гвинт.

Таким чином, вирішується задача побудови системи керування істотно нелінійним об'єктом - підводним апаратом в умовах невизначеності його параметрів на основі лише експериментальних даних. При цьому сам експеримент по отриманню даних є дуже простим та таким, що легко реалізується. Крім того, відпадає необхідність в оснащенні системи датчиком частоти обертання гребного гвинта.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

Система автоматичного керування швидкістю руху підводного апарата на базі NARMA-L2 регулятора, яка містить задавач вхідного сигналу, датчик швидкості, послідовно з'єднані силовий перетворювач, електродвигун, гребний гвинт, а також підводний апарат як об'єкт керування, яка **відрізняється** тим, що додатково введено перший блок затримки вихідного сигналу, зв'язаний з датчиком швидкості, другий блок затримки вихідного сигналу, зв'язаний з першим блоком затримки, блок затримки керуючого сигналу, зв'язаний з блоком ділення, перший обчислювач, зв'язаний з датчиком швидкості, першим і другим блоками затримки вихідного сигналу, блоком затримки керуючого сигналу і оснащений програмою на базі штучних нейронних мереж, що відтворює функцію $f()$ NARMA-L2-регулятора, другий обчислювач, зв'язаний з датчиком швидкості, першим і другим блоками затримки вихідного сигналу, блоком затримки керуючого сигналу і оснащений програмою на базі штучних нейронних мереж, що відтворює функцію $g()$ NARMA-L2-регулятора, суматор, зв'язаний з першим обчислювачем і задавачем вхідного сигналу, та блок ділення, зв'язаний входами з суматором і другим обчислювачем, а виходом - з силовим перетворювачем і блоком затримки керуючого сигналу.



Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601