

УДК 621.865

МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Ф. Б. ТЕБУЕВА¹, М. Г. ОГУР², Е. А. НЕКРАСОВА³, Е. Н. ЛАСКИНА⁴

¹fariza.teb@gmail.com²ogur26@gmail.com³ne-myza@yandex.ru⁴koteika.katun@mail.ru

Институт информационных технологий и телекоммуникаций
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, Россия

Поступила в редакцию 3 июля 2020 г.

Аннотация: Представлен метод интегрального контроля динамического баланса, позволяющий антропоморфному роботу восстанавливать равновесие после обширных нарушений баланса и поддерживать вертикальную осанку. Баланс достигается при помощи метода интегрального управления, дифференцирующего динамику и передающего плавные сигналы крутящего момента. В методе интегрального контроля применены принципы баланса человека, в работе сравниваются данные захвата человеческого движения и данные таблиц крутящих моментов с имитационной моделью. Предложен контроллер отслеживания модели, позволяющий управлять сложными робототехническими системами.

Ключевые слова: работы, контроллеры, модели, методы, задачи, цели, баланс, блок-схема, регулятор.

ВВЕДЕНИЕ

Исследователи антропоморфных роботов часто описывают баланс и движение с использованием простых моделей. Ранние работы по балансу и стабильности динамических двуногих роботов была проведена в работах [2–4]. В этих исследованиях двуногий робот обычно представлял собой плоский двойной перевернутый маятник с основанием, представляющим стопорную ногу и голеностопный сустав. Центр давления (CoP)

используется в качестве меры устойчивости антропоморфного робота. Он представляет собой местоположение эквивалентной силы, равной интегралу распределения давления под ногой, что является мерой тенденции к тому, чтобы ноги перемещались и отрывались от земли. Использование наземных опорных точек, таких как CoP, присутствует почти в каждом антропоморфном проекте. Хотя определение и полезность CoP было поставлено под сомнение авторами [5, 6], оно по-прежнему является доминирующей мерой

стабильности, используемой многими роботами, включая весьма успешную Honda Asimo [7].

Ограничения, накладываемые на голеностопный сустав, заставляют антропоморфного робота вести себя как акробат [8], который состоит из серии перевернутых маятников, со всеми, кроме базового сустава. По определению, CoP акробата всегда закрепляется ниже базового сустава, но он все равно может сбалансировать себя. У антропоморфных роботов местоположение CoP примерно пропорционально величине крутящего момента на лодыжке. Если крутящий момент на лодыжке всегда задан равным нулю, тогда CoP также остается на нуле, а антропоморфный робот становится нестабильным [25].

Исследователи биомеханики разделили контроль баланса человека на стратегию бедер и стратегию лодыжки [9]. Для стратегии голеностопного сустава все суставы, за исключением лодыжек, фиксируются, а баланс достигается движением только лодыжек. В какой-то момент это становится слишком затруднительным для лодыжек, и используется стратегия бедра. Это характеризуется большой дефляцией на бедре и быстрой центрировкой центра масс над лодыжкой. Смещение центра масс манипулирует моментом, созданным гравитационной силой, позволяя человеку балансировать так же, как акробат.

Контроль предварительного просмотра [10], аналогичный прогностическому контролю модели [11] и ограниченному оптимальному управлению [12], постепенно изменяет входы, моделируя систему вперед, чтобы предотвратить нарушения ограничений. Такой инкрементный контроль необходим, потому что CoP налагает ограничения на совместные крутящие моменты, а именно на бактерии, а также на то, что происходит на поверхности земли. Интегральное управление ранее использовалось для контроля баланса антропоморфного робота [13], чтобы отделить динамику центра давления и центра масс.

Идея использования интуитивно понятных контроллеров для более простых моделей сложных роботов привела к разработке

средств управления рабочим пространством [14] и элементов управления виртуальной моделью [15]. Оба используют принцип виртуальной работы и якобиан для выполнения действий в пространстве задач. При управлении оперативным пространством контроллеры создаются для отслеживания траекторий рабочих точек и управления виртуальной моделью, совместные крутящие моменты создают виртуальные силы в произвольных точках тела. Хатиб и др. применяли приоритетные оперативные космические средства управления антропоморфными роботами [16], чтобы удовлетворить требованиям, предъявляемым к производителю, находящемуся в правильной позе. Вначале диспетчер был задействован для движений рук или одиночных опорных задач, но позднее был организован в общую структуру, которая включала необходимые контактные ограничения для контроля антропоморфных роботов [17].

УПРАВЛЕНИЕ БАЛАНСОМ

Баланс антропоморфного робота может быть частично описан центром давления или CoP. Эта точка должна быть вдалеке от краев стопы, или нога начнет вращаться. Традиционное управление, такое как линейные квадратичные регуляторы и ПИД-регуляторы, не учитывает это ограничение, за исключением ограничения команд крутящего момента. При наличии большой внешней силы возмущения эти линейные контроллеры будут командовать большим крутящим моментом, чем робот может доставить, удерживая ногу на земле. По этой причине мы выводим контроллер, который учитывает эти ограничения, гарантируя, что робот остается сбалансированным и вертикальным, при этом его ноги будут лежать на земле.

Целью исследования является повышение способности антропоморфного робота к восстановлению равновесия после обширных нарушений баланса и поддержания вертикальной осанки при перемещении.

Задачами статьи являются: 1) достижение баланса при помощи метода интеграль-

ного управления, дифференцирующего динамику и передающего плавные сигналы крутящего момента; 2) применение в методе интегрального контроля принципов баланса человека, в работе сравниваются данные захвата человеческого движения и данные таблиц крутящих моментов с имитационной моделью; 3) описание контроллера отслеживания модели, позволяющего управлять сложными робототехническими системами [18].

Контроллер баланса описан ниже для полностью приводимых в действие, безусловных планарных динамических систем с уравнениями движения, в форме:

$$M(\theta)\ddot{\theta} = \tau - N(\theta, \dot{\theta}), \quad (1)$$

где θ – вектор совместных углов, M – матрица инерции, τ – совместные крутящие моменты, а N – вектор, содержащий гравитационные, центробежные и кориолисовы силы.

Предлагается использовать контроллер, задействующий плоские инвертированные маятниковые модели. Несмотря на то, что в заданной модели нет явно выделенной ноги, предполагается, что она постоянно находится на земле, не создавая никакой кинетической или потенциальной энергии. Определенные центра давления применяется до тех пор, пока оно остается в пределах области, на которую будет покрываться нога. Изначально игнорируется присутствие стопы, которая налагает ограничения на местоположение CoP и, следовательно, ограничивает крутящий момент лодыжки. Используется двухкомпонентный контроллер баланса, основанный на стратегиях движения тазобедренного сустава и лодыжки [19]. Первый контроллер представляет собой простой полнолинейный квадратичный регулятор (LQR). Указанный оптимальный контроллер найден путем линеаризации динамики по вертикали и может быть записан как

$$\tau_{LQR} = -K_{LQR} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Данный контроллер всегда применяет восстановительные моменты для приведения углов соединения к нулю. Это заставляет робота в целом вести себя как жесткий перевернутый маятник, аналогичный стратегии

лодыжки. Однако по мере того, как отклонение на лодыжке становится больше, центр массы движется наружу, создавая большой момент из-за силы тяжести, чтобы крутящий момент лодыжки был сбалансирован. По этой причине мы добавляем еще один контроллер для регулирования горизонтального положения центра масс над лодыжкой, чтобы свести к минимуму этот момент так же, как и тазобедренную стратегию. Ускорение горизонтального положения центра масс x_{CM} можно записать в виде

$$x_{CM} = J_x \theta + J_x M^{-1}(\tau - N), \quad (3)$$

где $J_x = \partial x_{CM} / \partial \theta$.

Необходимо, чтобы реакция регулятора была $\ddot{x}_{CM} = -k_{CMp}(x_{CM} - x_{CM}^d) - k_{CMd}\dot{x}_{CM}$, которую можно достичь с помощью следующего уравнения управления:

$$\tau_{CM} = N - M J_x^+ (\dot{x}_{CM} + k_{CMp}(x_{CM} - x_{CM}^d) + k_{CMd}\dot{x}_{CM}), \quad (4)$$

где J_x^+ обозначает псевдоинверсию J_x , а x_{CM}^d – желаемый центр расположения масс. Для равновесия требуемое место должно быть над лодыжкой, так что сила тяжести указывает через голеностопный сустав и не вызывает никакого момента.

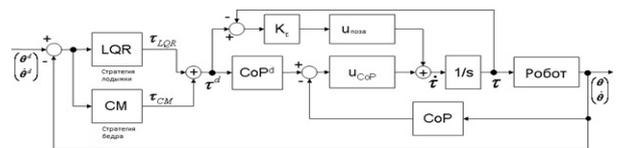


Рис. 1. Блок-схема контроллера баланса

Блок-схема контроллера изображена на рис. 1. В отличие от контроллера LQR, этот контроллер будет применять невозвращающиеся моменты. Эти нереверсивные моменты могут привести к большому отражению на бедре, характерному для стратегии тазобедренного сустава. В общем, эти контроллеры могут быть конфликтующими. Тем не менее регулятор CM действует только в том случае, когда CM отходит от нуля и не может поддерживать позу в одиночку, поэтому оба контроллера используются одновременно [20].

Для сравнения производительности были использованы несколько других контроллеров, которые обычно используются для это-

го типа проблем управления, и их производительность сравнивается с описанным контроллером. Под производительностью подразумевается способность робота выдерживать большие возмущающие силы, не нарушая ограничений в центре давления и заставляя ногу вращаться или падать. Три контроллера, с которыми проводилось сравнение описанного контроллера – это неограниченный контроллер LQR, контроллер LQR с ограничением крутящего момента на лодыжке и ограниченный контроллер LQR с использованием отстающего горизонтального управления. Модель педипулятора использовалась с любым контроллером, прежде чем горизонтальные толкатели были применены к центру масс верхнего звена. Величина x повышалась до тех пор, пока робот не стал бы неустойчивым, либо с помощью CoP, движущегося к краю стопы, либо падающего.

РЕГУЛЯТОР CoP

Расположение центра давления является важным показателем способности робота балансировать, поскольку он представляет собой положение одной эквивалентной силы на ноге. Чтобы держать ноги на земле, этот параметр должен находиться в пределах области под ногами. Для нашей двойной перевернутой маятниковой модели плоских двуногих роботов расположение центра давления задается уравнением формы,

$$x_{CoP} = \frac{\tau_{\text{лодыжка}}}{F_{\text{norm}}} = \frac{A\tau}{B+C\tau}, \quad (5)$$

где A – матрица, которая выбирает крутящий момент лодыжки из вектора крутящих моментов, τ . Нормальная сила отменяет вес и ускорение вниз центра масс, поэтому

$$\begin{aligned} F_{\text{norm}} &= m_{\text{tot}}(\ddot{z}_{\text{cm}} + \mathbf{g}) \text{ и} \\ \mathbf{B} &= m_{\text{tot}}(\mathbf{J}_z\theta - \mathbf{J}_z\mathbf{M}^{-1}\mathbf{N} + \mathbf{g}), \\ \mathbf{C} &= m_{\text{tot}}\mathbf{J}_z\mathbf{M}^{-1}, \end{aligned}$$

где $\mathbf{g} = 9,81 \text{ м/с}^2$, \mathbf{J}_z – якобиан координаты z центра масс с функцией только совместных углов. Числитель этого уравнения является функцией крутящего момента в голеностопном суставе, что означает, если крутя-

щий момент голеностопного сустава равен нулю, то и CoP равен нулю. Из этого следует, что пределы местоположения CoP приблизительно определяют пределы крутящего момента на лодыжке. Проблема применения вышеперечисленных контроллеров заключается в том, что они могут управлять крутящим моментом лодыжки, который превышает эти ограничения [21]. По данной причине используются вышеуказанные контроллеры в качестве опорного крутящего момента,

$$\tau^d = \tau_{LQR} + \tau_{\text{cm}}. \quad (6)$$

Используется опорный крутящий момент для вычисления идеального центра давления, CoP, используя уравнение (5). Если требуемый крутящий момент лодыжки слишком велик, заданная точка будет превышать границы стопы. Фактический желаемый центр давления, CoP^d , создается путем ограничения указанного значения под ногами. Чтобы сохранять баланс при отслеживании желаемого центра давления, используется несвязанный интегральный контроллер,

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_{\text{CoP}} + \mathbf{U}_{\text{положение}}, \quad (7)$$

где \mathbf{u}_{CoP} регулирует местоположение CoP, а $\mathbf{U}_{\text{положение}}$ удерживает робота в вертикальном положении. Соединительные моменты являются интегралом этого уравнения. Использование интегрального управления создает плавные входы крутящего момента и приводит к легко расчленимой динамике, как показано ниже.

Становится возможным отслеживание $\mathbf{x}_{\text{CoP}}^d$ с помощью управления обратной связью [23], которое дает ответ, $\dot{\mathbf{x}}_{\text{CoP}} = -\mathbf{K}_{\text{CoP}}(\mathbf{x}_{\text{CoP}} - \mathbf{x}_{\text{CoP}}^d)$. Динамику CoP можно найти, взяв производную от уравнения (5),

$$\dot{\mathbf{x}}_{\text{CoP}} = \mathbf{D} + \mathbf{E}\mathbf{u}, \quad (8)$$

где $\mathbf{u} = \dot{\mathbf{t}}$ – новый управляющий вход и

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= -(\mathbf{B} + \mathbf{C}\tau)\mathbf{A}\tau/F^2, \\ \mathbf{E} &= (\mathbf{F}\mathbf{A} - \mathbf{C}\mathbf{A}\tau)/F^2, \\ \mathbf{F} &= \mathbf{B} + \mathbf{C}\tau. \end{aligned}$$

Согласно уравнению (8), для достижения желаемого ответа необходимо применить следующее уравнение контроля:

$$u_{\text{CoP}} = -E^+ \left(D + k_{\text{CoP}} (x_{\text{CoP}} - x_{\text{CoP}}^d) \right). \quad (9)$$

Используя уравнение (9), возможно контролировать расположение CoP, но только контроль лодыжки не заставит робота стоять вертикально. Для контроля осанки были добавлены дополнительные элементы управления, которые лежат в $E^* = \emptyset(E)$. Интуитивно это пустое пространство, по существу, связано со всеми суставами, отличными от лодыжки. Согласно уравнению (8), такой контроль не повлияет на динамику CoP. Чтобы контролировать осанку, мы пытаемся отслеживать требуемый крутящий момент из уравнения (6), контроллера неограниченного баланса выше. Результирующим контроллером осанки обозначается

$$u_{\text{поза}} = \sum_i \left(E_i^{*T} K_{\tau} (\tau^d - \tau) \right) E_i^*, \quad (10)$$

где E_i^* – единичный базисный вектор нулевого пространства, а K_{τ} – матрица усиления, которая определяет, насколько близко интегратор отслеживает опорный крутящий момент, τ^d . Поскольку нулевое пространство связано со всеми суставами, за исключением лодыжки, уравнение (10) не изменяет момент лодыжки.

Однако опорный момент лодыжки не игнорируется, поскольку он использовался при расчете CoP^d , который отслеживается с использованием уравнения (9). Весь контроллер суммируется на блок-схеме на рис. 1.

ПРОБЛЕМА АДАПТАЦИИ ДВИЖЕНИЙ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА К УСЛОВИЯМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Для того чтобы робот адаптировался к реальной среде, используется гибридный подход, который сочетал критерий ZMP с подавлением углового момента, где робот выполняет манипуляции со значительным значением отклонения от вертикали.

Применяемая инерциальная единица измерения и ориентация туловища на основе контроллера обратной связи соответственно [24] позволяют антропоморфному роботу ходить по наклонной плите. Однако данный метод не приспособлен к перемещению по поверхности с изменяющимся углом накло-

на. Авторами [22] предложено использование фильтра Калмана на основе линейного фильтра в качестве дополнительного контроллера для того, чтобы предсказать угол наклона поверхности, и робот был в состоянии стоять на платформе и поддерживать свой баланс на разном уровне наклона. Данный метод также был использован в работе «Атлас», который может абсолютно успешно перемещаться по пересеченной местности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контроллер равновесия антропоморфного робота, представленный в статье, основан на предварительной работе по балансировке нестабильных систем, таких как перевернутые маятники и акробат, и основан на стратегии тазобедренного сустава и лодыжки, наблюдаемой в экспериментах по балансу человека. Использование линейного квадратичного регулятора имитирует стратегию лодыжки, заставляя робота вести себя как один инвертированный маятник, в то время как регулятор в горизонтальном положении центра масс напоминает контроллер стратегии бедра. Центр давления является основанием опорной точки, его физическим смыслом является мера устойчивости. Представлен несвязанный контроллер, который отслеживает центр давления и удерживает робота в вертикальном положении. Принимая во внимание пределы расположения центра давления, мы гарантируем, что робот может стоять ногами на земле и выдерживать большие возмущения.

Для применения данного контроллера баланса к сложным системам роботов представлен метод управления отслеживанием модели. Для модельной системы мы использовали двойной перевернутый маятник. Используя операционные точки, прикрепленные к местоположениям клавиш, получен контроллер обратной связи, который позволяет системе роботов отслеживать модельную систему [26]. Модель строится, и ее динамика используется в качестве ключевого термина в управлении роботом. Важной задачей при использовании этого метода управления является выбор модельной системы, которая аппроксимирует показатели

робота. Из-за расхождений добавлено дополнительное интегрированное состояние, для коррекции центра масс, чтобы он формировался прямо над лодыжкой, где момент, вызванный силой тяжести, равен нулю.

Список литературы

1. **Horak F., Nashner L.** Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations // *Journal of Neurophysiology* 1986. Vol. 55. № 6. P. 1369–1381.
2. **Vukobratovic M., Frank A. A., Juricic D.** On the stability of biped locomotion // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1970. January P. 25–36.
3. **Galliday C., Hemami H.** Postural stability of the two-degree-of-freedom biped by general linear feedback // *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1976. Vol. 21, № 1 P. 74–79.
4. **Hemami H., Chen B.-R.** Stability analysis and input design of a two-link planar biped // *The International Journal of Robotics Research*. 1984. Vol. 3. № 2, P. 93–100.
5. **Goswami A.** Postural stability of biped robots and the foot-rotation indication (fri) point // *International Journal of Robotics Research*. 1999. Vol. 18. № 6. P. 523–533.
6. **Popovic M., Goswami A., Herr H.** Ground reference points in legged locomotion: Definitions, biological trajectories and control implications // *International Journal of Robotics Research*. 2005. Vol. 24. № 12. P. 1013–1032.
7. **Hirai K., Hirose M., Haikawa Y., Takenaka T.** The development of honda humanoid robot // *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Vol. 2, 1998. P. 1321–1326.
8. **Spong M.** The swing up control problem for the acrobat // *IEEE Control Systems Magazine*. 1995. Vol. 15. № 1. P. 49–55.
9. **Kuo A.** An optimal control model for analyzing human postural balance // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1995. Vol. 42. № 1. P. 87–101.
10. **Kajita S., Kanehiro F., Kaneko K., Fujiwara K., Harada K., Yokoi K., Hirukawa H.** Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point, // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2003. Vol. 2. P. 1620–1626.
11. **Maciejowski J.** *Predictive Control with Constraints*. // Prentice Hall.
12. **Goodwin G., Seron M., Dona J. D.** *Constrained Control and Estimation: An Optimisation Approach*. London: Springer-Verlag. 2005.
13. **Kondak K., Hommel G.** Control and online computation of stable movement for biped robots. // *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2003. Vol. 1. P. 874–879.
14. **Khatib O.** A unified approach for motion and force control of robot manipulators: The operational space formulation. // *IEEE Journal of Robotics and Automation*. 1987. Vol. 3. № 1. P. 43–53.
15. **Pratt J. E.** Virtual model control of a bipedal walking robot // *Master's thesis*. Massachusetts Institute of Technology. 1995.
16. **Khatib O., Sentis L., Park J., Warren J.** Whole-body dynamic behaviour and control of human-like robots. // *International Journal of Humanoid Robotics*. 2004 Vol. 1. № 1. P. 29–43.
17. **Sentis L., Khatib O.** A whole-body control framework for humanoids operating in human environments. // *IEEE Conference on Robotics and Automation*. 2006. P. 2641–2648.
18. **Joao Ramos, Sangbae Kim.** Dynamic locomotion synchronization of bipedal robot and human operator via bilateral feedback teleoperation. *Science Robotics*, 2019; 4 (35): eaav4282 DOI: 10.1126/scirobotics.aav4282
19. **Xi A., Mudiyansele T. W., Tao D. and Chen C.**, "Balance control of a biped robot on a rotating platform based on efficient reinforcement learning," in *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 6, no. 4, pp. 938-951, July 2019, doi: 10.1109/JAS.2019.1911567.
20. **Hwang K. S., Jiang W. C., Chen Y. J., and Shi H.**, "Motion segmentation and balancing for a biped robot's imitation learning," *IEEE Trans. Industrial Information*, vol. 13, no. 3, Jun. 2017.
21. **Wu W. and Gao L.**, "Posture self-stabilizer of a bipedal robot based on training platform and reinforcement learning," *J. Robotics and Autonomous Systems*, vol. 98, pp. 42–55, 2017.
22. **Shahbazi M., Lopes G.A.D., and Babuska R.**, "Observer-based postural balance control for humanoid robots," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 891–896, 2013.
23. **Тебуева Ф. Б., Петренко В. И., Антонов В. О., Сычков В. Б.** Разработка способа решения обратной задачи кинематики для определения пространственного положения суставов руки оператора. XIII Международная научно-техническая конференция «Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства», 22-24 ноября 2017 года, г. Ижевск.
24. **Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Сычков В. Б., Антонов В. О.** Математическая модель определения пространственного положения звеньев задающего устройства на основе решения прямой задачи кинематики/ Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика (ПАРУСА-2017): сборник трудов VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Геленджик, 9-10 ноября 2017 г.), Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. 397 с.
25. **Богданов А. А., Кутлубаев И. М., Пермяков А. Ф., Попова Е. В., Сычков В. Б.** Основы построения специальных роботов для работы на космических аппаратах. Робототехника и искусственный интеллект Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2016. С. 48-53.
26. **Богданов А. А., Кутлубаев И. М., Пермяков А. Ф., Попова Е. В., Сычков В. Б.** Комбинированные системы управления робототехническими комплексами на основе элементов сенсорики с обратными связями для обеспечения возможности замены человека при работе в условиях чрезвычайной ситуации. Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий XX Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычай-

ных ситуаций. Тезисы докладов. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2015. С. 279-281.

ОБ АВТОРАХ

ТЕБUEВА Фариза Б., заведующий каф. прикладной математики и компьютерной безопасности. Д-р физ.-мат. наук, доцент. Иссл. в обл. моделирования процессов защиты информации в информационно-телекоммуникационных системах, управления робототехническими системами.

ОГУР Максим Г., старший преподаватель. кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности. Иссл. в обл. управления робототехническими системами, экспертизы вычислительной техники и носителей информации, технологий расследования киберпреступлений.

НЕКРАСОВА Елена А., старший преподаватель кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности. Иссл. в обл. методов и алгоритмов аварийного интеллектуального управления аппаратными ресурсами мобильного манипуляционного робота.

ЛАСКИНА Е. Н., студентка 5 курса кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности. Иссл. в обл. методов и алгоритмов аварийного интеллектуального управления аппаратными ресурсами мобильного манипуляционного робота.

METADATA

Title: The method of integral control of dynamic balance for moving an anthropomorphic robot

Authors: F. B. Tebueva¹, M. G. Ogur², E. A. Nekrasova³, E. N. Laskina⁴

Affiliation:

Institute of Information Technologies and Telecommunications Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "North-Caucasus Federal University", Stavropol, Russia

Email: ¹fariza.teb@gmail.com, ²ogur26@gmail.com, ³ne-myza@yandex.ru, ⁴koteika.katun@mail.ru

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 2, no. 1 (3), pp. 25-31, 2020. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: The article presents the method of integral control of dynamic balance, which allows an anthropomorphic robot to restore balance after extensive imbalances and maintain vertical posture. Balance is achieved using the integral control method, which differentiates dynamics and transmits smooth torque signals. The principles of human balance are applied in the method of integral control, the data comparing the capture of human movement and the data of the torque tables with a simulation model are compared. A model tracking controller is proposed that allows you to control complex robotic systems.

Key words: controllers, models, methods, tasks, goals, balance, block-diagram, regulator.

About authors:

TEBUEVA Fariza B., Head of the department of Applied Mathematics and Computer Security. Grand PhD. in Phys.-Math. sciences, associate professor. Research in the region modeling of information security processes in information and telecommunication systems, control of robotic systems.

OGUR Maxim G., Senior Lecturer. of the department of Applied Mathematics and Computer Security. Research in the region control of robotic systems, examination of computer technology and storage media, cybercrime investigation technologies.

NEKRASOVA Elena A., Senior Lecturer, Department of Applied Mathematics and Computer Security. Research in the region methods and algorithms of emergency intelligent control of hardware resources of a mobile manipulation robot.

LASKINA E. N., student of the Department of Applied Mathematics and Computer Security. Research in the region methods and algorithms of emergency intelligent control of hardware resources of a mobile manipulation robot.