УДК 681.3

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО АЛГОРИТМА МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО ВЫБОРА И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

[1]Андраханов С.В., [1]Львович Я.Е., [2]Преображенский А.П.

[1]ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, e-mail: andrahs@yandex.ru;

[2]АНОО ВПО «Воронежский институт высоких технологий», Воронеж, e-mail: komkovvivt@yandex.ru

При формировании структуры робота может применяться комбинированный поисковый алгоритм, который состоит в использовании процедуры многоальтернативной оптимизации. При выборе конечного варианта подключается алгоритм поиска, характеризующийся более высокой эффективностью для рассматриваемого класса объектов проектирования. В работе проведена интеграция алгоритма многоальтернативного выбора и генетического алгоритма. Для операции размножения используется рекомбинация генов двух родительских хромосом, выбранных на основе скрещивания. При этом получен новый вариант набора альтернативных переменных, определяющих конструкцию и алгоритм управления движением. Родительские хромосомы сравниваются по содержанию каждого гена. С целью проведения сокращений множества перспективных вариантов создается репродукционная группа с использованием селекционных схем. Разработанный алгоритм позволяет исследовать особенности движения ММР. Приведена структурная схема диалогового алгоритма многокритериальной оптимизации на множестве альтернативных переменных.

Ключевые слова: оптимизация, робот, генетический алгоритм, моделирование.

IMPLEMENTATION OF INTEGRATION ALGORITHM MULTIALTERNATIVE SELECTION AND GENETIC ALGORITHMS

[1]Andrahanov S.V., [1]Lvovich Y.E., [2]Preobrazhensky A.P.

[1]GOU VPO «Voronezh State Technical University», Voronezh, e-mail: andrahs@yandex.ru;

[2]ANOO VPO «Vorovezh Institute of High Technologies», Voronezh, e-mail: komkovvivt@yandex.ru

When forming the structure of the robot the search algorithm, which consists in the use of procedures многоальтернативной optimization can be combined. When selecting a target option search algorithm, characterized by higher efficiency for the considered class of design objects is connected. In the paper the integration algorithm multiple-choice selection and genetic algorithm is carried out. For the operation of reproduction the recombination is used of genes two parent chromosomes, selected on the basis of a cross. And thus we gets a new variant of an alternative set of variables that determine the structure and the motion control algorithm. Parental chromosomes are compared on the content of each gene. With the purpose of abbreviations many promising options a reproduction group is created using breeding schemes. The developed algorithm allows to investigate the features of the MMR. The structural scheme of the dialog algorithm for multiobjective optimization on a set of alternative variables is given.

Keywords: optimization, robot , genetic algorithm, simulation

Управление сложными техническими системами определяет необходимость разработки соответствующих алгоритмов. В качестве примера таких систем, активно используемых на практике, могут быть приведены мехатронно-модульные роботы (ММР). В настоящее время многие предприятия, которые создают роботов, применяют системы автоматизированного проектирования (САПР) для того, чтобы формировать роботов на основе виртуальной среды. В основе указанных САПР находятся специальные приложения, предназначенные для того, чтобы моделировать геометрические, кинематические и эргономические характеристики робота [2]. При этом могут формироваться различные варианты робототехнического устройства проектировщиком на основе применения средств геометрического моделирования.

Методика решения задачи

При формировании структуры робота может применяться комбинированный поисковый алгоритм, который состоит в использовании процедуры многоальтернативной оптимизации для получения некоторого набора хороших вариантов, которые достаточно полно отвечают требованиям оптимизируемой функции F [1, 7]. При выборе конечного варианта подключается алгоритм поиска, характеризующийся более высокой эффективностью для рассматриваемого класса объектов проектирования. В [3, 5] на основе модельных экспериментов показана возможность применения генетических алгоритмов для структурного синтеза ММР.

Используется определенная структура хромосомы, кодирующей порядок сборки и алгоритм управления ММР.

В случае алгоритма многоальтернативного выбора будем рассматривать значения альтернативных переменных x_j, $j=\overline{1,J}$, принимающих значения 1 или 0 как коды соответствующих генов хромосомы.

В отличие от формата хромосомы, предложенном в [6], формат хромосомы, являющийся аналогом перспективного варианта решения задачи многоальтернативной оптимизации, в соответствии с оптимизируемой функцией F включает ряд блоков хромосом в следующей последовательности:

1) подхромосома, состоящая из четырех генов и определяющая количество N модулей ММР;

2) N – 1-подхромосома, состоящая из пяти генов и определяющая размещение модуля (2 гена – сторона крепления, 3 гена – номер площадки, выбранной для стыковки);

3) N-подхромосомы, состоящие из четырех генов и определяющие параметры управления первой степенью подвижности модуля (по обобщенной координате y);

4) N-подхромосомы, состоящие из четырех генов и определяющие параметры управления второй степени подвижности модуля (по обобщенной координате z).

На первом этапе осуществляется переформатирование блоков 2–4 в формат, когда последовательно для каждого модуля располагаются гены x_j, $j=\overline{1,J}$, характеризующие размещение модуля и алгоритм управления. Обозначим хромосомы в этом формате $x_\ell=(x_{j\ell})$, $j=\overline{1,J}$, $\ell=\overline{1,L}$, где ℓ – число перспективных доминирующих вариантов (L обычно ≤ 7 [3]).

На втором этапе используются основные операции генетических алгоритмов, апробированные для ММР [6]: скрещивания и размножения. Учебно-исследовательская составляющая предусматривает выбор из нескольких схем скрещивания.

Для выполнения скрещивания все хромосомы x_ℓ, $\ell=\overline{1,L}$, принадлежащие популяции X, делят на локальные популяции $X_m \neq 0$, $m=\overline{1,M}$ ($M \leq J$), в любой из которых равны нулю Хеммингов расстояния между любой парой генов $x_{j\ell}$, x_{jt}, $\ell,t=\overline{1,L}$. Локальные популяции для скрещивания выбираются случайным образом. Для этого определяется численность локальных популяций L_m и для случайного выбора используется распределение вероятностей

$$p_m = L_m/L,\ m=\overline{1,M}. \qquad (1)$$

Определяются реализации случайного дискретного числа $\tilde{m} - m_1, m_2$. В качестве родительской пары $(x_\ell, x_t) \in X$ выбираются хромосомы $x_\ell \in X_{m1}$ и $x_t \in X_{m2}$.

Вторая схема скрещивания определяется расстоянием Хемминга между значениями $x_{j\ell}$, x_{jt}, $j=\overline{1,J}$ двух хромосом x_ℓ, x_t, $\ell,t=\overline{1,L}$, $h=\left\|x_{j\ell}-x_{jt}\right\|$.

В случаях $h \leq h_0$, где h_0 – заданное положительное число, исследуется схема имбридинга. Если $h \geq h_0$, исследуется третья схема – аутбридинга.

Кроме приведенных схем исследуются схемы ассортативного скрещивания. В этом случае используется количественная оценка степени приспособления, которая определяется по значению оптимизируемой функции для каждой хромосомы x_ℓ – $F(x_{j\ell})$. В первой схеме хромосомы для скрещивания выбираются из распределения вероятностей

$$p_\ell = \frac{F(x_{j\ell})}{\sum_{\ell=1}^{L} F(x_{j\ell})},\ \ \ell=\overline{1,L}. \qquad (2)$$

Во второй схеме при проведении отрицательного ассортативного скрещивания делают случайный выбор одной из хромосом из (2), а вторая берется из вероятностей

$$p'_\ell = \frac{\dfrac{1}{F(x_{j\ell})}}{\sum_{\ell=1}^{L} \dfrac{1}{F(x_{j\ell})}},\ \ \ell=\overline{1,L}. \qquad (3)$$

Третья схема основана на селективном скрещивании. С этой целью из набора хромосом x_ℓ, $\ell=\overline{1,L}$ исключаются те, которые обладают степенью приспособленности меньшей, чем средняя степень приспособленности на множестве хромосом x_ℓ, $\ell=\overline{1,L}$:

$$F\left(x_{j\ell}\right) < \frac{\sum_{\ell=1}^{L} F(x_{j\ell})}{L}.$$

Далее осуществляется случайный выбор по распределению (2).

Особенности реализации генетического алгоритм

Для операции размножения используется рекомбинация генов двух родительских хромосом, выбранных на основе скрещивания. При этом получаем новый вариант набора альтернативных переменных, определяющих конструкцию и алгоритм управления движением. Родительские хромосомы сравниваются по содержанию каждого гена. В учебно-исследовательской составляющей УИ САПР целесообразно рассмотреть возможные реализации операции

размножения. Далее переходят к одной из схем скрещивания для подбора вариантов x_ℓ, x_t, $\ell, t = \overline{1, L}$, в родительскую пару. При этом происходит завершение процесса после осуществления перебора всех возможных родительских пар. С целью проведения сокращений множества перспективных вариантов создается репродукционная группа с использованием селекционных схем. Здесь исследуются две основные схемы. В первой схеме происходит упорядочение всех $\ell = \overline{1, L}$ в том порядке, в котором идет убывание для значений, характеризующих их степени приспособленности. Задают размер для репродукционной группы $L_р$, с ограничением перспективных вариантов. Для второго случая определяют среднюю степень приспособленности $\ell = \overline{1, L}$ вариантов

$$F^{ср} = \frac{1}{L}\sum_{\ell=1}^{L} F(x_\ell).$$

В репродукционную группу происходит включение только тех вариантов x_{lp}, у которых степень приспособленности выше или равна средней величине

$$F(x_\ell) \geq F^{ср},\ \ell = \overline{1, L}.$$

Поскольку алгоритм многоальтернативной оптимизации [1, 7] основан на организации поиска для рандомизированной среды, следует размещать в этой среде и процедуру, которая дает выбор свертки. При этом в рандомизированной среде используют случайную величину $\tilde{d}$, которая принимает значение номеров, относящихся к функциям $\overline{F_1, F_6}$ с вероятностью P_d, $\sum_{d=1}^{6} P_d = 1$. На k-м шаге одновременно с проведением настройки вероятностей, характеризующих альтернативные переменные, вероятностей, характеризующих значимости критериев $\psi_i(x)$ при формировании оптимизируемых функций, идет настройка вероятностей P_d на основе такой последовательности шагов.

1. Исходя из распределения P_d^k происходит генерация значений дискретного случайного числа $\tilde{d} = d^k$.

2. В том случае, когда $d^k = 1$, то исходя из распределения P_k^i происходит генерация дискретного случайного числа $\tilde{i} = i$.

3. Происходит определение четырех значений $\psi_{ik} = \left\{\psi_{ik}^1, \psi_{ik}^2, \psi_{ik}^3, \psi_{ik}^4\right\}$ для различных комбинаций по альтернативным переменным x_j, $j = \overline{1, J}$, которые соответствуют первой $\Delta_{1j}\psi_{ik}$ и второй $\Delta_{2j}\psi_{ik}$ вариациям в алгоритме многоальтернативной оптимизации.

4. В том случае, когда $d^k = \overline{2,6}$, то, исходя из вариаций $\Delta_{1j}F_{dk}\Delta_{2j}F_{dk}$ алгоритма многоальтернативной оптимизации, происходит вычисление четырех значений оптимизируемой функции

$$F_{dk} = \left\{F_{dk}^1, F_{dk}^2, F_{dk}^3, F_{dk}^4\right\},\ d^k = \overline{2,6}.$$

5. Происходит вычисление для таких же комбинаций по альтернативным переменным на основе четырех значений для других критериев ψ_i, $i \neq i^k$.

6. Среди всех критериев ψ_i и функций F_{dk}, $d^k = \overline{2,6}$ из четырех значений происходит выбор рекорда (максимального значения ψ_i^p, F_{dk}^p, $d^k = \overline{2,6}$).

7. Полученные рекордные значения предъявляют для эксперта с целью оценивания с вопросом: «Какое из предъявленных значений по критериям ψ_i^p и F_{dk}^p не приводит к удовлетворению условий в максимальной степени?».

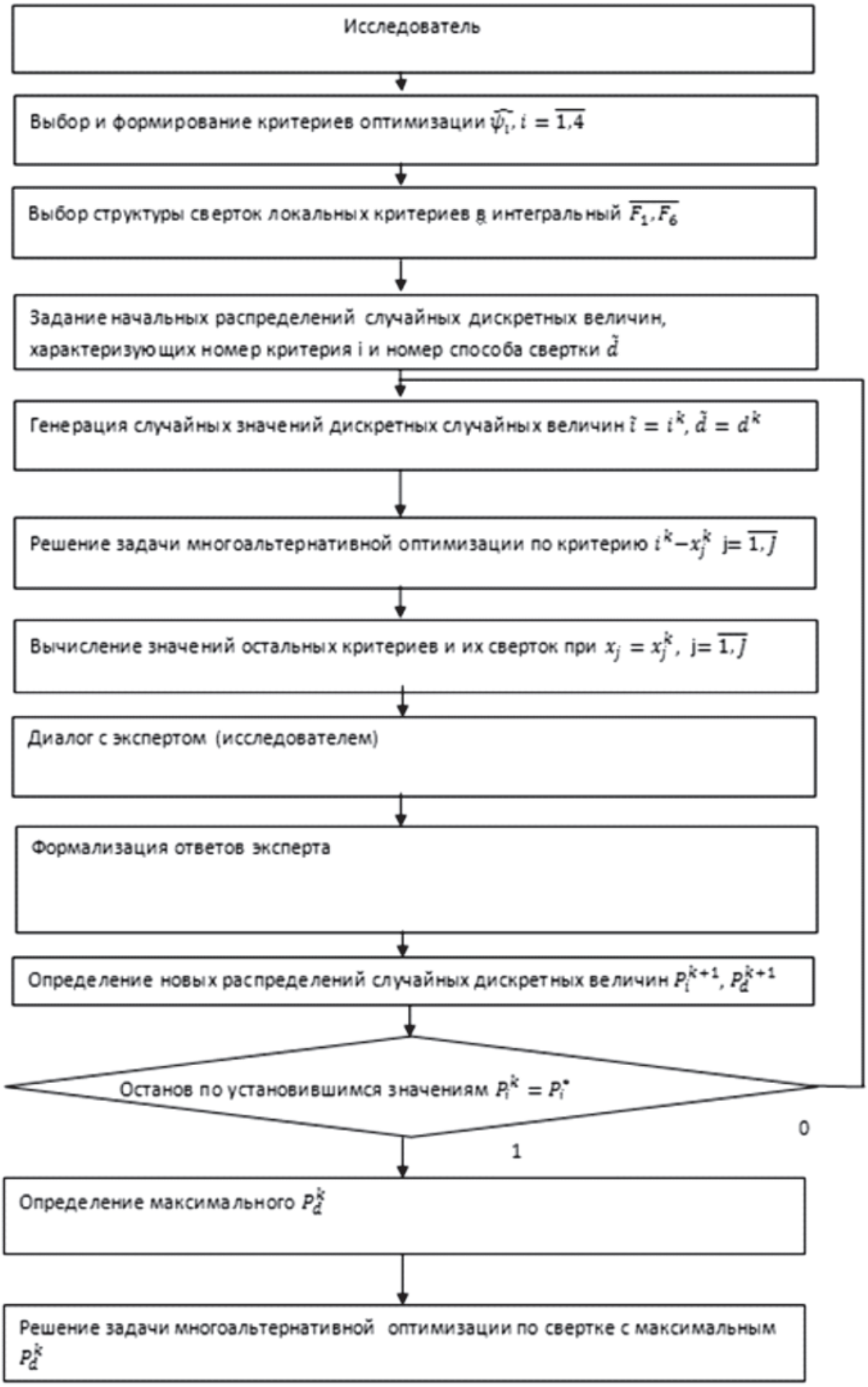
8. В том случае, если подходит один из данных критериев ψ_i то происходит настройка по вероятностям P_i^{k+1} и P_d^{k+1}, когда не устраивает F_d^p, то проводится настройка только для P_d^{k+1}.

9. Происходит формализация ответа эксперта таким образом

$$A_i^k = \begin{cases} 1, & \text{если } i = i^{k+1}, \\ -1, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$A_{d=1}^k = \begin{cases} 1, & \text{если эксперта не удовлетворяет ни один из критериев } \psi_i,\ i = \overline{1,4}, \\ -1, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$A_{dk}^k = \begin{cases} 1, & \text{если эксперта не удовлетворяет значение } d^k\text{-й оптимизируемой} \\ & \text{функции } F_{d^k},\ d^k = \overline{2,6} \\ -1, & \text{в противном случае,}\ \ d^k = \overline{2,6}. \end{cases}$$



Структурная схема диалогового алгоритма многокритериальной оптимизации на множестве альтернативных переменных

10. Происходит определение нового распределения для случайных дискретных величин $\bar{\iota}$, $\tilde{d}$ исходя из информации, которая получена из диалога с экспертом и для которой есть формализация по правилам п. 9, и с ориентацией на условия п. 8,

$$P_i^{k+1} = \frac{P_i^k + \aleph(A_i^k)}{1+\varepsilon^{k+1}}, \quad i = \overline{1,4};$$

$$P_i^{k+1} = \frac{P_d^k + \aleph(A_d^k)}{1+\gamma^{k+1}},$$

где $\varepsilon^{k+1} > 0$ – размер шага при получении значений вероятностей P_i на $k+1$-й итерации; $\gamma^{k+1} > 0$ – размер шага при получении значений вероятностей P_d на $k+1$-й итерации,

$$\aleph(A) = \begin{cases} 1, \text{если} & A > 0, \\ 0, \text{если} & A < 0. \end{cases}$$

11. Отмечаются установившиеся значения P_i^* исходя из того, как зависит P_i от номера итерации $P_i(k) \to P_i^* = P_i(k), \quad i = \overline{1,4}$ $\sum_{i=1}^{4} P_i^* = 1$.

12. С итерации $k = K$ происходит переход от проведения поиска по выбранным критериям ψ_i, $i = \overline{1,4}$ к проведению поиска на основе аддитивной свертки, ориентируясь на следующее условие:

$$M_i\{\psi(x)\} = \sum_{i=1}^{4} P_i^* \widehat{\psi_\iota}(x) = \sum_{i=1}^{4} \alpha_i \widehat{\psi_\iota}(x),$$

считая, что

$$a_i = p_i^*, \quad i = \overline{1,4},$$

где M_i – математическое ожидание реализаций значения $\psi_i(x)$ по случайному дискретному числу $\bar{\iota}$.

13. Происходит сравнение значений, определенных в п. 10 для k-й итерации. По следующему шагу в алгоритме многоальтернативной оптимизации происходит выбор оптимизируемой функции F_d с наибольшим значением p_d.

Структурная схема диалогового алгоритма многокритериальной оптимизации приведена на рисунке.

Выводы

Таким образом, в работе проведена интеграция алгоритма многоальтернативного выбора и генетического алгоритма. Разработанный алгоритм позволяет исследовать особенности движения ММР. Приведена структурная схема диалогового алгоритма многокритериальной оптимизации на множестве альтернативных переменных.

Список литературы

1. Андраханов С.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Интеграция алгоритма многоальтернативной оптимизации и генетического алгоритма в учебно-исследовательской САПР // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 4–8.

2. Андраханов С.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Учебно-исследовательская САПР мехатронно-модульных роботов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – № 3–1. – С. 24–27.

3. Кочеткова О.В., Казначеева А.А. Разработка метода и средств представления модели знаний специалиста в учебно-исследовательских САПР (монография) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 9. – С. 79–80.

4. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. – Воронеж: Кварта, 2006. – 428 с.

5. Львович Я.Е., Андраханов С.В. Интеграция процедур многоальтернативной оптимизации и метода роя частиц // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 12. – С. 29–31.

6. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П., Кадочников М.В. Технологии обработки в задачах управления автономными мехатронно-модульными реконфигурируемыми роботами // Приложение к журналу «Информационные технологии». – 2010. – № 8.

7. Смольников Б.А. Проблемы механики и оптимизации роботов. – М.: Наука, 1991.

References

1. Andrahanov S.V., Lvovich Y.E, Preobrazhensky A.P., Integratsia algoritma mnogoaltivnoy optimizatsii I geneticheskogo algoritma v uchebno-issledovatelskoy SAPR. Vestnik Voronezhskogo institute vysokih tehnologiy. Bulletin of Voronezh institute of high technologies, 2013, no. 10, pp. 4–8.

2. Andrahanov S.V., Lvovich Y.E, Preobrazhensky A.P., Uchebno-issledovatelskaya SAPR mehatronno-modulnyhrobotov. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Bulletin of Voronezh state technical university, 2013, vol. 9, no. 3–1, pp. 24–27.

3. Kochetkova O.V., Kaznacheeva A.A., Razrabotka metoda I sredstv predstavleniya modeli spetsialista v uchebno-issledovatelskih SAPR (monographiya). Mezhdunarodny zhurnal prikladnyh I fundamentalnyh issledovany, 2012, no. 9, pp. 79–80.

4. Lvovich Ya.E., Mnogoalternativnaya optimizatsiya: teoriya I prilozheniya [Multialternative optimization: theory and using]: Textbook. Voronezh, Kvarta, 2006. 428 p.

5. Lvovich Ya.E., Andrahanov S.V. Integratsiya protsedur mnogoalternativnoy optimizatsii I metoda royachastits. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Bulletin of Voronezh state technical university. 2010, vol. 6, no. 12, pp. 17–20.

6. Makarov I.M., Lohin V.M., Manko S.V., Romanov M.P., Kadochnikov M.V. Tehnologii obrabotki v zadachah upravleniya avtonomnymi mehatronno-modulnymi robotami / Prilozheniye k zhurnalu «Informatsionnye tehnologii». Addition to journal «Information technologies», no. 8, 2010.

7. Smolnikov B.A. Problemy mehaniki i optimizatsii robotov [Problems of mechanics and optimization of robots]. Moscow, Nauka, 1991.

Рецензенты:

Разинкин К.А., д.т.н., профессор Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж.

Чопоров О.Н., д.т.н., профессор, проректор по научной работе Воронежского института высоких технологий, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 06.11.2013.