

Алгоритм обработки информации при построении оптимальной структуры гибкой технической системы на основе параметров качества

В.Е. Магер (СПбПУ),

В.Е. Белоусов, Е.Н. Десятирикова,

А.В. Полуказаков, С. А.Иванов,

И.В. Поцербнева (ВГТУ)

Постановка задачи

1. Исследуется многокритериальная модель планирования измерений для оценки качества мультиагентной самонастраивающейся системы с переменной структурой.
2. Для определения оптимальной структуры самонастраивающейся автоматизированной системы необходимо решить многокритериальную задачу оптимизации и сформировать вектор плана измерений состояний сложной системы x из множества планов X .
3. В общей постановке количество планов, удовлетворяющих всем условиям задачи, может быть некоторое множество D , причем каждый план $x \in D$ можно описать системой критериев

$$f(x) = (f_1(\partial), f_1(x), \dots, f_m(x))$$

Постановка задачи

4. Парето-множество планов в смысле векторной задачи минимизации записывается как:

$$\text{Min}_f X = \{x \in X \mid (\neg \exists y \in X) f(y) \leq f(x)\}$$

и в смысле векторной задачи максимизации:

$$\text{Max}_f X = \{x \in X \mid (\neg \exists y \in X) f(y) \leq f(x)\}$$

5. Введены определения:

- глубины улучшения плана $x \in X$ относительно системы критериев $f(x)$:

$$Q(x) = |\{y \in X \mid f(x) \leq f(y), f(x) \neq f(y)\}|$$

- относительной глубины улучшения плана:

$$\nu(x) = \frac{Q(x)}{N-1}, \quad N - \text{количество элементов множества } X.$$

Постановка задачи

5. Приняты предложения: $0 \leq \nu(x) \leq 1$, что означает:
при $\nu(x) = 1$ – глубина улучшения плана $x \in X$ максимальна, и Парето-множество содержит только один план, который улучшает все остальные планы из множества X ;
если Парето-множество совпадает с исходным множеством X , то измерительные планы множества имеют минимальную глубину улучшения.
6. Измерительный план $x^* \in X$, имеющий максимальную глубину улучшения $Q(x^*)$, Парето-оптимален относительно системы критериев $f(x)$.
7. Важнейшим критерием является качество полученной модели планирования структуры гибкой сложной системы, формируемой при обработке информации от агентов системы.

Алгоритмизация

Обозначим: $n=1, N$ – порядковый номер агента;

m – порядковый номер качественного уровня информации,

$m=1, M$;

q – порядковый номер качественного уровня информации; $q=1, Q$.

Предположим, что известны $\mu_l = \{\mu_{l1}, \dots, \mu_{lm}, \dots, \mu_{lM}\}$,

представляющие собой количественную оценку всех возможных

качественных уровней l -ых агентов; $0 \leq \mu_{lm} \leq 1$, $l=1, L$, $m=1, M$.

Аналогичные характеристики пусть известны и для обработанной информации:

$$\hat{\mu}_N = \{\hat{\mu}_{n1}, \dots, \hat{\mu}_{nQ}\}, \quad 0 \leq \hat{\mu}_{nq} \leq 1, \quad q = \overline{1, Q}$$

Тогда функциональная модель сбора информации

в рассматриваемой системе может быть записана в виде:

$$\left(Y_{nq}, \quad n = \overline{1, N}, \quad q = \overline{1, Q} \right) \xleftarrow{F} \left(X_{lm}, \quad l = \overline{1, L}, \quad m = \overline{1, M} \right)$$

Модельно-квалитативные функции

Показано, что μ_{lm} представляет собой отношение предельной эффективности по агенту l , измеренному в натуральных единицах, к предельной эффективности структуры сложной системы по тому же агенту, измеренному в квалиметриках.

Сформулированы свойства постоянной отдачи:

$$f(\lambda_1 X_1, \lambda_1 \otimes \mu_1, \lambda_2 X_2, \lambda_2 \otimes \mu_2) = \psi(\lambda) f(X_1, \mu_1, X_2, \mu_2)$$

где: \otimes - некоторая операция сложения качества,

ψ - некоторая функция, $\psi(\lambda) > 0$, $\psi'_\lambda(\lambda) \geq 0$, $\psi''_{\lambda^2}(\lambda) \leq 0$,

X_{lm} – номер l -го агента, имеющего m -ый уровень качества, но

измеренного в новых единицах, и $\bar{X}_{lm} = \psi_l(X_{lm}, \mu_{lm})$,

тогда форма записи МКФ: $\bar{Y} = \tilde{f}(\{\bar{X}_{lm}\}, l = \overline{1, L}, m = \overline{1, M})$

и для некоторых типов агентов: $\bar{X}_{lm} = X_{lm} \cdot \mu_{lm}$

Понятие квалиметрики:

Дифференцируем: $\frac{\partial \bar{Y}}{\partial X_{lm}} = \frac{\partial \tilde{f}}{\partial \bar{X}_{lm}} \mu_{lm}$, тогда $\mu_{lm} = \left(\frac{\partial \bar{Y}}{\partial X_{lm}} \right) / \left(\frac{\partial \tilde{f}}{\partial \bar{X}_{lm}} \right)$

Следовательно, μ_{lm} представляет собой отношение предельной эффективности измерительного плана сбора и обработки информации в сложной системе по агенту l , измеренному в натуральных единицах, к предельной эффективности по тому же агенту, измеренному в квалиметриках.

Поскольку $0 \leq \mu_{lm} \leq 1$, предельная эффективность системы по агенту, измеренному в квалиметриках, не меньше, чем предельная эффективность по агенту, измеренному в натуральных единицах.

МКФ результата функционирования системы

Далее исследуются способы построения МКФ вида:

$$Y = f(K, \mu_k, L, \mu_L)$$

где K – структура агента;

μ_k – его качественный уровень;

L – вектор плана измерений;

μ_L – его качественный уровень;

Y – требуемый результат функционирования измерительной системы.

Поскольку каждый из агентов имеет свой набор качественных уровней и свою шкалу измерений, для их совместного анализа и выявления их влияния на общий качественный уровень результата вводятся соизмеряющие эти шкалы функции.

Соизмеряющие функции:

$$\bar{K}_k = K \cdot \mu_k = \varphi(v(K), \omega(\mu_k))$$

$$\bar{L}_k = L \cdot \mu_L = \psi(u(L), z(\mu_L))$$

где μ_k и μ_L – качественные показатели,
 K и L – объемные факторы.

Объемные факторы входят в систему не через их абсолютные показатели, а с помощью некоторых функций от этих показателей:

$$v(K): [K, \infty) \rightarrow (0, \infty); \quad \omega(\mu_k): [0, 1] \rightarrow (0, \infty);$$

$$u(L): [L, \infty) \rightarrow (0, \infty); \quad z(\mu_L): [0, 1] \rightarrow (0, \infty).$$

Таким образом, МКФ (функциональная модель расчета результата функционирования системы) приобретает вид:

$$Y = f(\varphi(v, \omega), \psi(u, z)).$$

Анализ решения задачи

Предполагая, что функцию Y характеризует постоянная отдача по переменным φ и ψ , получим:

$$\frac{Y}{\psi} = \tilde{f}\left(\frac{\varphi}{\psi}\right), \quad \frac{\varphi}{\psi} = X, \quad Y = \psi \tilde{f}(X)$$

Уравнение $X = \varphi / \psi$ отражает изменение соотношения между структурой системы и результатами измерений, заданными в квалиметриках.

С каждым шагом планирования системы результаты измерений улучшаются:

$$\dot{v} = s_1 Y, \quad \dot{\omega} = s_2 Y, \quad \dot{z} = s_3 Y,$$

где $0 \leq \sum_{i=1}^3 S_i \leq 1$ - агенты системы. С учетом приведенных

предположений доказывається, что, если структура измерений системы не соответствует критерию качества, то построение плана Парето невозможно, независимо от типа агентов s_1^0, s_2^0, s_3^0 .

Выводы

- Модельно-квалитативные функции позволяют перевести оценку качества мультиагентной самонастраивающейся системы с переменной структурой в плоскость квалиметрик.
- Для совместного анализа и выявления влияния агентов на общий качественный уровень результата необходимо определить соизмеряющие шкалы.
- Планом измерений, удовлетворяющим условиям задачи и достигающим «наилучших» в том или ином смысле значений по заданной системе критериев с соблюдением условия полной отдачи, является Парето-оптимальный план. Его построение возможно только при соответствии структуры измерений системы критерию качества.

Спасибо за внимание