

Композиция структуры телеметрической системы

М.Ш. Левин, И.А. Ходаковский

*Институт проблем передачи информации РАН, Российская академия наук,
Москва, Россия*

*Московский физико-технический институт (государственный университет)
Долгопрудный, Россия*

Поступила в редколлегию 28.04.2007

Аннотация—В статье рассматривается иерархический комбинаторный синтез (композиция) структуры прикладной телеметрической системы. Система состоит из бортового оборудования, радиоканала и наземного оборудования (включая место оператора). Используется иерархическое морфологическое многокритериальное проектирование (ИММП), которое включает три основных этапа: (а) построение древовидной модели системы в виде И-ИЛИ дерева и генерация проектных альтернатив (DAs) для всяких вершин построенной модели (частей/компонентов системы), (б) многокритериальный отбор проектных альтернатив для частей проектируемой системы, (в) формирование результирующей комбинации из отобранных альтернатив с учетом порядкового качества альтернатив и их совместимости. Прикладной пример иллюстрирует процесс иерархического модульного проектирования.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы возрастает важность телеметрических систем в различных приложениях. В данной работе рассмотрен иерархический подход к модульному формированию структуры прикладной телеметрической системы, включающей бортовое оборудование, радиоканал и наземное оборудование (включая место оператора) (Рис. 1). В качестве подвижного объекта может выступать самолет, спутник, аэростат, метеорологический зонд.

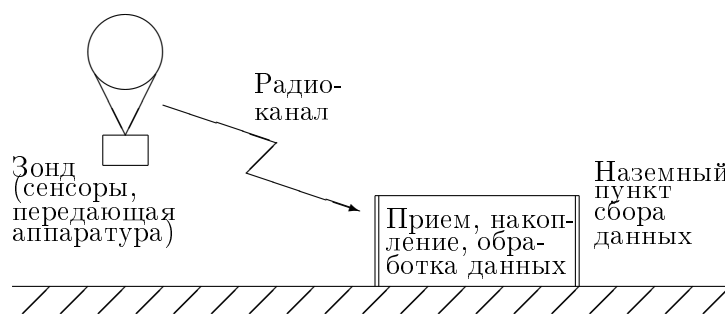


Рис. 1. Иллюстрация телеметрической системы

Для моделирования системы и решения проектной задачи используется иерархический морфологический многокритериальный подход (ИММП) ([1], [3], [4], [6]), который включает три основных этапа: (1) построение древовидной модели системы в виде И-ИЛИ дерева и генерация проектных альтернатив (DAs) всяких вершин построенной модели (частей/компонентов системы), (2) многокритериальный отбор проектных альтернатив для частей проектируемой системы, (3) формирование результирующей комбинации из отобранных альтернатив с учетом порядкового качества альтернатив и их совместимости. Второй и третий этапы повторяются итеративно. Пример иллюстрирует процесс иерархического модульного проектирования.

2. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В работе используется иерархическое морфологическое многокритериальное проектирование, основанное на задаче морфологической клики [1]. Краткое типовое описание данного подхода (ИММП) имеет следующий вид ([1], [3], [4], [6]). Проектируемая (модульная, составная) система включает части/компоненты и их совместимости (IC). Предполагаются следующие базовые предположения: (а) древовидная структура системы; (б) составная оценка качества системы, которая интегрирует качество частей/компонентов и качество совместимости (IC); (в) монотонные критерии для оценки системы и ее частей/компонентов; (г) качество частей/компонентов системы и их совместимости оценивается на основе скоординированных порядковых шкал. Далее использованы следующие обозначения: (1) проектные альтернативы (DAs) для вершин модели (системы, частей /компонентов системы); (2) приоритеты (порядковые оценки качества) для DAs ($r = 1, \dots, k$; 1 соответствует наилучшему уровню качества); (3) порядковая совместимость (IC) для пар DAs ($w = 0, \dots, l$, l соответствует наилучшему уровню качества). Основные стадии ИММП включают следующее: 1. проектирование древовидной модели системы; 2. генерация DAs для висячих вершин модели системы; 3. многокритериальное оценивание и ранжирование DAs для каждой висячей вершины модели системы и получение порядковой оценки качества r ; 3. композиция (синтез) проектных альтернатив (DAs) для более высокого иерархического уровня модели системы; 4. анализ получаемых решений и их улучшение при необходимости (и возможности). Пусть имеется система S , состоящая из m частей/компонентов: $P(1), \dots, P(i), \dots, P(m)$. Для каждой части системы сгенерирован набор (множество) проектных альтернатив. Задача синтеза имеет вид:

Найти комбинацию $S = S(1) \star \dots \star S(i) \star \dots \star S(m)$ из альтернатив DAs (одна соответствующая алтернатива $S(i)$ для каждой части/компонента $P(i)$, $i = 1, \dots, m$) с ненулевой совместимостью (IC) во всех парах выбранных альтернатив.

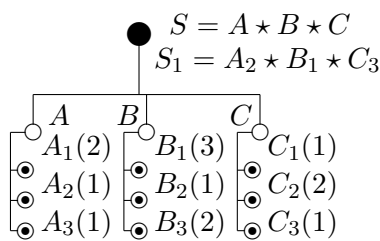


Рис. 2. Пример композиции

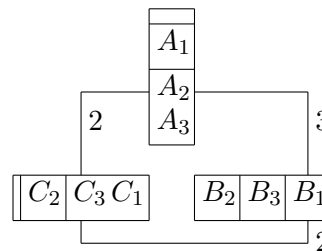


Рис. 3. Центрическая модель

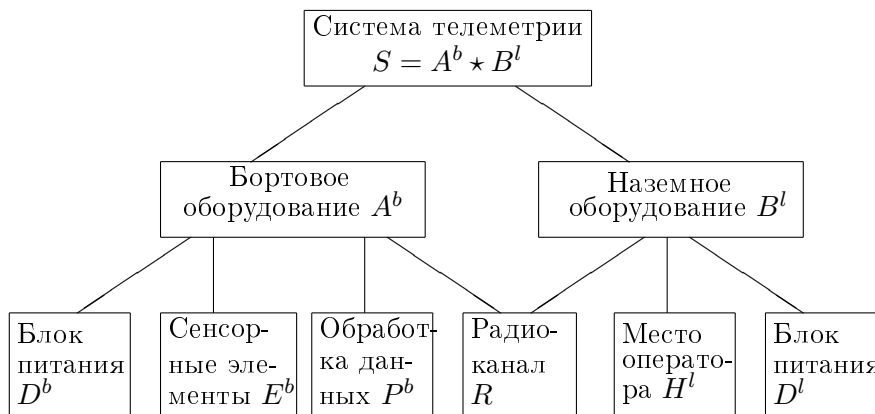


Рис. 4. Прикладная телеметрическая система: архитектура

Дискретное пространство качества для результирующих комбинаций (составных решений) базируется на векторе качества: $N(S) = (w(S); n(S))$, где $w(S)$ соответствует минимальному значению парной совместимости (т.е., $\forall P_{j_1}$ and P_{j_2} , $1 \leq j_1 \neq j_2 \leq m$) in S , $n(S) = (n_1, \dots, n_r, \dots, n_k)$, где n_r - число DAs качества r в S . Таким образом, ищутся решения, которые не доминируемы по $N(S)$. Рис. 2 и 3 иллюстрируют задачу синтеза. В примере составное решение имеет вид: $S_1 = A_2 \star B_1 \star C_3$, $N(S_1) = (2; 1, 1, 1)$.

3. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1. Структура системы и локальные альтернативы

Упрощенная схема архитектуры рассматриваемой телеметрической системы представлена на Рис. 4. Структура системы имеет вид:

0. Система $S = A^b \star B^l$:

1. Бортовое оборудование $A^b = D^b \star E^b \star P^b \star R$:

1.1. Блок питания $D^b = X^b \star Y^b \star Z^b$:

1.1.1. стабилизатор X^b : X_1^b (стандартный), X_2^b (транзисторный), X_3^b (повышенной стабильности);

1.1.2. основной источник Y^b : Y_1^b (Li-ion), Y_2^b (Cd-Mn), Y_3^b (Li);

1.1.3. аварийный элемент Z^b : Z_1^b (Li-ion), Z_2^b (Cd-Mn), Z_3^b (Li).

1.2. Сенсорные элементы $E^b = I^b \star O^b \star G^b$:

1.2.1. датчики ускорения I^b : I_1^b (ADXL), I_2^b (ADIS), I_3^b (MMA);

1.2.2. датчики положения O^b : O_1^b (SS12), O_2^b (SS16), O_3^b (SS19), O_4^b (SS49), O_5^b (SS59), O_6^b (SS94);

1.2.3. блок глобальной навигации (GPS) G^b : G_1^b (EB), G_2^b (GT), G_3^b (LS), G_4^b (ZX).

1.3. Система обработки данных $P^b = H^b \star C^b \star W^b$:

1.3.1. блок хранения данных C^b : C_1^b (SRAM), C_2^b (DRAM), C_3^b (FRAM);

1.3.2. вычислительный блок (CPU) Y^b : Y_1^b (AVR), Y_2^b (ARM), Y_3^b (ADSP), Y_4^b (BM);

1.3.3. блок записи данных W^b : W_1^b (встроенный АЦП), W_2^b (внешний АЦП I2C), W_3^b (внешний АЦП SPI), W_4^b (внешний АЦП 2W), W_5^b (внешний АЦП UART(1)).

1.3. Радиоканал R (структура приведена ниже).

2. Наземное оборудование $B^l = R \star H^l \star D^l$:

2.1. Радиоканал R (структура приведена ниже).

2.2. Оборудование оператора $H^l = P^l \star K^l \star J^l$:

2.2.1. программное обеспечение C^l : 2.2.1.1. операционная система Q^l : Q_1^l ; 2.2.1.2. программа интерфейса приемника I^l : I_1^l .

2.2.2. персональный компьютер $K^l = T^l \star U^l \star V^l \star W^l$: 2.2.2.1. операционная система T^l : T_1^l ; 2.2.2.2. программа интерфейса приемника U^l : U_1^l ; 2.2.2.3. операционная система V^l : V_1^l ; 2.2.2.4. программа интерфейса приемника W^l : W_1^l ;

2.2.3. дополнительный инвентарь J^l : J_1^l ;

2.3. Блок питания $D^l = X^l \star Y^l \star Z^l$:

2.3.1. стабилизатор X^l : X_1^l (инвертор), X_2^l (импульсный), X_3^l (отсутствует);

2.3.2. основной источник Y^l : Y_1^l (Li-ion), Y_2^l (Cd-Mn), Y_3^l (Li), Y_4^l (Pb (жидкий)), Y_5^l (генератор);

2.3.3. аварийный элемент W^l : Z_1^l (Li-ion), Z_2^l (Cd-Mn), Z_3^l (Pb), Z_2^l (отсутствует), Z_3^l (Li).

1.3./2.1 Радиоканал $R = I^r \star J^r$:

1.3.1. приемник $I^r = F^r \star E^r \star D^r \star P_r$: 1.3.2.1. блок фильтрации F^r : F_1^r ; 1.3.2.2. коррелятор E^r : E_1^r ; 1.3.2.1. демодулятор D^r : D_1^r ; 1.3.2.2. декодер P^r : P_1^r ;

1.3.2. передатчик $J^r = K^r \star M^r$: 1.3.2.1. кодировщик K^r : K_1^r ; 1.3.2.2. модулятор M^r : M_1^r .

Схемы трех частей системы (включая проектные альтернативы) представлены на Рис. 5, 6, 7.

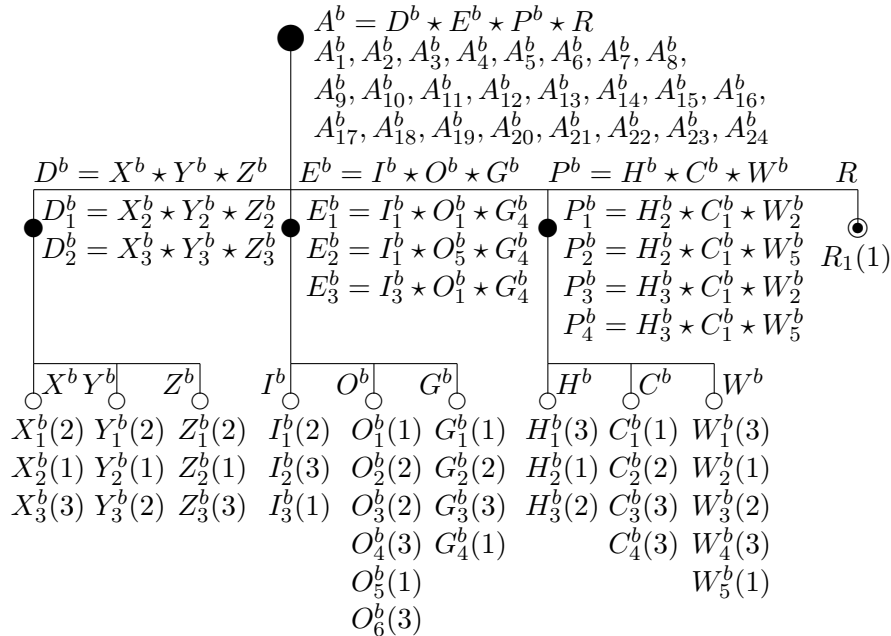


Рис. 5. Бортовое оборудование

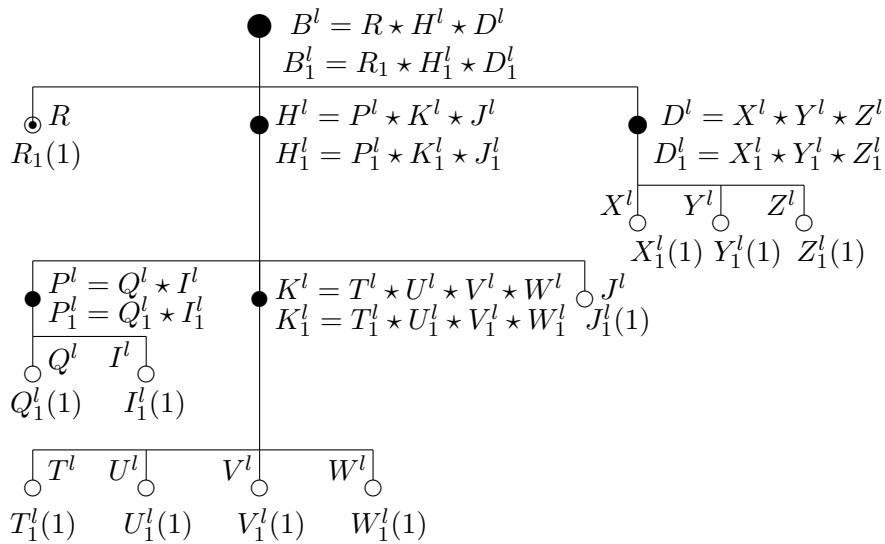


Рис. 6. Наземное оборудование

Поскольку рассматриваемый пример имеет иллюстративный характер, следующие упрощения использованы:

1. ИММП применено только к одной части телеметрической системы - бортовому оборудованию A^b и для этой части системы сгенерированы проектные альтернативы (DAs).

2. При анализе наземного оборудования (часть B^l) и радиоканала (R) использованы фиксированные проектные альтернативы (на основе экспертных знаний), хорошо совместимые между собой. В частности, для оборудования оператора выбрано: (а) программное обеспечение Windows, DE2.2; (б) персональный компьютер с характеристиками: тактовая частота - до 3ГГц, 8ч., винчестер 250Гб HDD, оперативная память 2ГГб RAM. Для радиоканала выбрано: (а) амплитудный модулятор, шумоподавляющий, автокорреляционный, адаптивный; (б) ШИМ, ортогональный, автокорреляционный.

3. Многокритериальные оценки проектных альтернатив и их ранжирование не проводятся. Предполагается, что результирующие приоритеты альтернатив уже получены (на основе многокритериального ранжирования и/или экспертного оценивания). Приоритеты альтернатив указаны в скобках на Рис. 5, 6, 7.

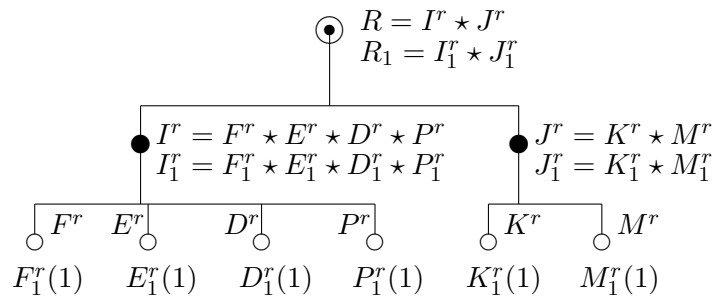


Рис. 7. Структура радиоканала

3.2. Совместимость альтернатив

Оценки совместимости проектных альтернатив (экспертное оценивание) для подсистемы A^b приведены в Таблицах 1, 2, 3,

3.3. Составные решения

Рассмотрим составные Парето-оптимальные решения для подсистемы бортового оборудования A^b . Для подсистемы D^b Парето-оптимальные решения имеют вид: $D_1^b = X_2^b * Y_2^b * Z_2^b$, $N(D_1^b) = (1; 3, 0, 0)$; $D_2^b = X_3^b * Y_3^b * Z_3^b$, $N(D_2^b) = (2; 0, 0, 3)$. Отметим, что составное решение $D_3^b = X_1^b * Y_2^b * Z_3^b$ ($N(D_3^b) = (1; 2, 1, 0)$) представляется перспективным в случае улучшения совместимости для пары альтернатив (X_1, Z_2) с 1 до 2. Рис. 8 иллюстрирует пространство качества указанных составных решений для D^b .

Для подсистемы E^b Парето-оптимальные решения имеют вид:

$$E_1^b = I_1^b * O_1^b * G_4^b, N(E_1^b) = (4; 2, 1, 0); E_2^b = I_1^b * O_5^b * G_4^b, N(E_2^b) = (4; 2, 1, 0);$$

$$E_3^b = I_3^b * O_1^b * G_4^b, N(E_3^b) = (3; 3, 0, 0).$$

Рис. 9 иллюстрирует пространство качества указанных составных решений для E^b .

Для подсистемы P^b Парето-оптимальные решения имеют вид:

$$P_1^b = H_1^b * C_1^b * W_4^b, N(P_1^b) = (1; 3, 0, 0); P_2^b = H_1^b * C_5^b * W_4^b, N(P_2^b) = (1; 3, 0, 0);$$

$$P_3^b = H_3^b * C_1^b * W_4^b, N(P_3^b) = (3; 2, 1, 0). P_4^b = H_3^b * C_1^b * W_4^b, N(P_4^b) = (3; 2, 1, 0).$$

Таблица 2. Совместимость

	O_1^b	O_2^b	O_3^b	O_4^b	O_5^b	O_6^b	G_1^b	G_2^b	G_3^b	G_4^b
I_1^b	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
I_2^b	3	3	3	3	3	3	2	3	3	1
I_3^b	3	3	3	3	2	2	1	1	1	3
O_1^b								3	2	3
O_2^b								1	1	3
O_3^b								2	2	3
O_4^b								2	2	2
O_5^b								2	2	2
O_6^b								2	2	2

Таблица 1. Совместимость

	Y_1^b	Y_2^b	Y_3^b	Z_1^b	Z_2^b	Z_3^b
X_1^b	3	2	2	1	1	1
X_2^b	2	1	1	1	1	1
X_3^b	4	3	3	1	1	2
Y_1^b				2	1	1
Y_2^b				1	2	1
Y_3^b				1	1	2

Таблица 3. Совместимость

	C_1^b	C_2^b	C_3^b	C_4^b	W_1^b	W_2^b	W_3^b	W_4^b	W_5^b
H_1^b	3	3	3	2	3	3	3	3	3
H_2^b	1	1	2	3	2	3	3	2	2
H_3^b	5	3	3	3	3	3	3	3	3
C_1^b					3	3	3	3	3
C_2^b					3	3	3	3	3
C_3^b					3	3	3	3	3
C_4^b					1	1	1	1	1

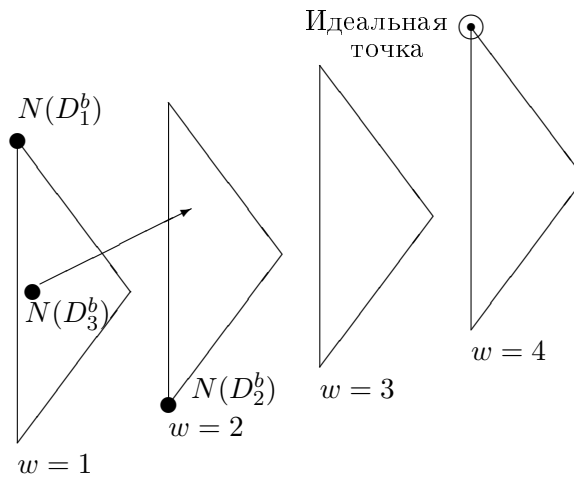


Рис. 8. Пространство качества D^b

Рис. 10 иллюстрирует пространство качества указанных составных решений для P^b . Таким образом, получаем 24 решения для подсистемы A^b (как комбинации решений для D^b, E^b, P^b):

$$\begin{aligned}
 A_1^b &= D_1^b \star E_1^b \star P_1^b \star R_1; & A_2^b &= D_1^b \star E_1^b \star P_2^b \star R_1; \\
 A_3^b &= D_1^b \star E_1^b \star P_3^b \star R_1; & A_4^b &= D_1^b \star E_1^b \star P_4^b \star R_1; \\
 A_5^b &= D_1^b \star E_2^b \star P_1^b \star R_1; & A_6^b &= D_1^b \star E_2^b \star P_2^b \star R_1; \\
 A_7^b &= D_1^b \star E_2^b \star P_3^b \star R_1; & A_8^b &= D_1^b \star E_2^b \star P_4^b \star R_1; \\
 A_9^b &= D_1^b \star E_3^b \star P_1^b \star R_1; & A_{10}^b &= D_1^b \star E_3^b \star P_2^b \star R_1;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{11}^b &= D_1^b \star E_3^b \star P_3^b \star R_1; & A_{12}^b &= D_1^b \star E_3^b \star P_4^b \star R_1; \\
 A_{13}^b &= D_2^b \star E_1^b \star P_1^b \star R_1; & A_{14}^b &= D_2^b \star E_1^b \star P_2^b \star R_1; \\
 A_{15}^b &= D_2^b \star E_1^b \star P_3^b \star R_1; & A_{16}^b &= D_2^b \star E_1^b \star P_4^b \star R_1; \\
 A_{17}^b &= D_2^b \star E_2^b \star P_1^b \star R_1; & A_{18}^b &= D_2^b \star E_2^b \star P_2^b \star R_1; \\
 A_{19}^b &= D_2^b \star E_2^b \star P_3^b \star R_1; & A_{20}^b &= D_2^b \star E_2^b \star P_4^b \star R_1; \\
 A_{21}^b &= D_2^b \star E_3^b \star P_1^b \star R_1; & A_{22}^b &= D_2^b \star E_3^b \star P_2^b \star R_1; \\
 A_{23}^b &= D_2^b \star E_3^b \star P_3^b \star R_1; & A_{24}^b &= D_2^b \star E_3^b \star P_4^b \star R_1.
 \end{aligned}$$

Заметим, что исходное общее число возможных комбинаций для A^b равно 116640 ($27 \times 72 \times 60$). Далее для формирования результирующих решений для A^b можно провести исследование полученных 24 указанных комбинация (экспертный анализ и/или многокритериальное ранжирование) или сформулировать задачу иерархического морфологического проектирования (ИММП).

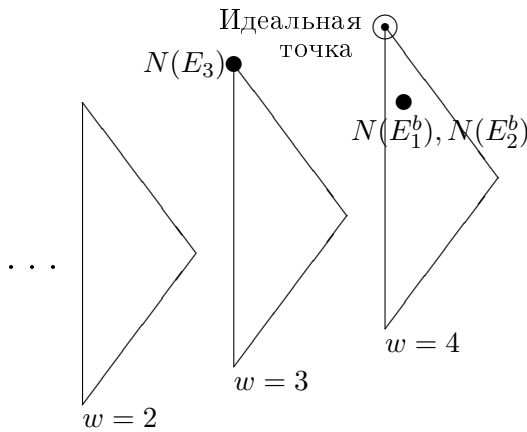


Рис. 9. Пространство качества E^b

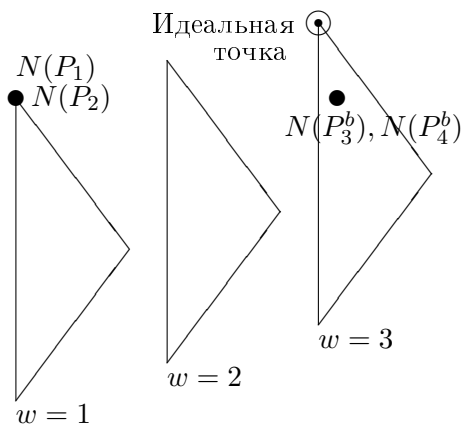


Рис. 10. Пространство качества P^b

3.4. О расширении схемы решения

Отметим, что базовая версия ИММП основана на древовидной модели системы. В рассматриваемом примере структура системы имеет более сложный вид. Поэтому можно использовать такую схему решения: (1) применение ИММП для подсистем: A^b, B^l, R ; (2) композиция для системы $S = A^b \star B^l \star R$; на этом уровне с учетом нескольких возможных вариантов для подсистемы R задача решается для каждого конкретного варианта $\{R_1, R_2, \dots\}$ с формированием общего (объединенного) набора решений для S .

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье описано применение иерархического морфологического проектирования для построения структуры телеметрической системы. Прикладной пример иллюстрирует процесс иерархического модульного проектирования. Пример является иллюстративным (сокращенным), но соответствует реальному приложению. Рассмотренный материал может послужить хорошей базой для многих других прикладных систем, включающих наземную и бортовую аппаратуру, радиоканалы. В целом результаты работы имеют предварительный характер и направлены на иллюстрацию возможностей использования иерархического комбинаторного морфологического подхода для прикладных систем указанного типа. В качестве направлений дальнейшего исследования можно указать следующие: 1. проведение дополнительного анализа рассматриваемой телеметрической системы с целью выявления узких мест и улучшения

(например, улучшение частей/компонентов, улучшение их совместимости); 2. проектирование режимов модификации/адаптации телеметрических систем (например, адаптация системы в режиме on-line с учетом изменений внешних условий эксплуатации); 3. учет неопределенности и отсутствия части информации, использование аппарата размытых множеств и методов искусственного интеллекта; 4. рассмотрение телеметрических систем, включающих множество (сеть) бортовых систем и/или множество (сеть) наземных пунктов; 5. рассмотрение других прикладных систем. Предварительный материал для данной статьи был подготовлен в рамках курса "Проектирование систем" в МФТИ (автор курса и преподаватель: М.Ш. Левин) ([2], [5]). Данный курс частично поддерживается компанией NetCracker, Inc. [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Levin M.Sh., *Combinatorial Engineering of Decomposable Systems*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
2. Levin M.Sh., Course 'Design of Systems: Structural Approach' (2004...2007) <http://www.iitp.ru/mslevin/SYSD.HTM>
3. Levin M.Sh., Modular system synthesis: Example for composite packaged software, *IEEE Trans. on SMC, Part C*, 2005, vol. 35, no. 4, pp. 544–553.
4. Levin M.Sh., *Composite Systems Decisions*. London: Springer, 2006.
5. Levin M.Sh., Course 'System design: structural approach'. *18th Int. Conf. Design Methodology and Theory DTM2006*, DETC2006-99547, 2006.
6. Levin M.Sh., Combinatorial technological systems models (examples for communication system). *2nd Int. Conf. on Systems Engineering and Modeling*, Haifa, 2007, pp. 24-32.
7. Netcracker, Inc. <http://www.netcracker.com>