

УДК 519.852.33

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Д.А. Павлов, А.О. Кормош (Санкт-Петербург)

Постановка задачи построения распределенной системы информационно-телеметрического обеспечения

Система информационно-телеметрического обеспечения управления космическими аппаратами (КА) входит в состав наземного комплекса управления, решающего задачи управления и испытаний КА и разгонных блоков как на этапе их летно-конструкторских испытаний, так и на этапе штатной эксплуатации [1].

Неотъемлемой составляющей перспективных космических систем являются системы спутниковой связи (ССС) и ретрансляции. Особенностью функционирования таких систем является возможность передачи большого потока разнородных данных, в том числе телеизмерений. При рассмотрении вопроса организации и использования подобных спутниковых систем для решения задач: приема и передачи целеуказаний КА из наземных пунктов, передачи данных для организации информационного взаимодействия между КА и наземными пунктами управления (НПУ), хранения и обработки в наземные пункты полученных результатов наблюдений необходимо корректно наладить информационное взаимодействие между КА СССР и НПУ.

Для того, чтобы корректно провести формальную постановку задачи планирования информационного взаимодействия (ИВ) в широком смысле, включая задачи приема, хранения, обработки и передачи телеметрической информации в систему информационно-телеметрического обеспечения (СИТО), опишем основные ее элементы на содержательном уровне: СИТО; технологию ее функционирования; совокупности требований и ограничений, накладываемых на выполнение данного процесса, от полноты и точности учета которых в последующем напрямую зависит качество выполнения СИТО своих целевых задач; показатели, оценивающие качество планирования ИВ в СИТО.

Формирование телеметрии для дальнейшего анализа должно производиться посредством комплексирования информационных потоков типа $\rho \in P = \{1, 2, \dots, p\}$. Указанное множество потоков формируется исходя из требований к информации на основе текущего состава БА КА, определение динамики структуры СИТО, динамики самих измерений и др.

Анализ показывает, что изменение структуры ИВ, вызванное баллистикой КА, не может проходить непрерывно, т.е. структура ИВ является постоянной на некоторых временных интервалах. Поэтому в дальнейшем будем предполагать, что заданный интервал времени $T = (t_0, t_f]$, на котором проводится управление ИВ, можно разбить на некоторое число L подынтервалов $T = \{(t_0, t_1], (t_1, t_2], \dots, (t_{k-1}, t_k], \dots, (t_{L-1}, t_L = t_f]\}$ постоянства структуры ИВ. В каждом подынтервале $T_k = (t_{k-1}, t_k]$ структура ИВ находится в неизменном состоянии S_{v_k} . Под состоянием структуры ИВ будем понимать некоторую совокупность характеристик, отражающих с определенной точки зрения в каждый рассматриваемый момент времени наиболее существенные стороны ИВ. Набором структурных состояний ИВ СИТО в целом $Sc_\chi = \{S_k, k = 1, \dots, L\}$, смену которых СИТО осуществляет на промежутке времени $T = (t_0, t_f]$, будем называть сценарием Sc_χ .

Содержание и специфика выполняемых операций информационного взаимодействия (обработки, хранения, приема-передачи информационных потоков) находит своё отражение в задании соответствующих параметров, характеризующих результаты выполнения операций (объём, качество, время выполнения операции и т.п.), расход ресурсов при выполнении операций, новые информационные потоки, возникающие в ходе выполнения операций.

Таким образом, СИТО в обобщенном виде будем рассматривать как множество функциональных элементов (ФЭ) $A = \{A_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, взаимодействующих посредством некоторой инфраструктуры [2-4] и представляющие собой искусственно созданные материальные объекты, осуществляющие информационное взаимодействие с другими разнотипными ФЭ, в ходе которого образуются соответствующие разнородные информационные потоки. Каждый из образованных потоков характеризуется текущим и требуемым объёмом (уровнем), интенсивностью передачи (приёма), скоростью изменения уровня потока и другими параметрами.

Будем предполагать, что каждый ФЭ оборудован унифицированной многофункциональной аппаратурой, предназначенной для хранения, передачи и обработки потоков, известны технические характеристики указанной аппаратуры. Для описания процессов ИВ СИТО воспользуемся диаграммами обобщенных состояний и диаграммами переходов из обобщенных состояний ФЭ при выполнении операций ИВ. Так на рис. 1 изображён фрагмент диаграммы переходов из обобщённых состояний A_μ и приняты следующие условные обозначения:

- 1 – приём необработанного потока ФЭ A_μ от ФЭ $A_\nu \in A_0$;
- 2 – приём необработанного потока БКУ A_μ от ФЭ $A_\nu \in A_p$;
- 3 – приём обработанного потока ФЭ A_μ от ФЭ $A_\nu \in A_p$;
- 4 – хранение поступившего на ФЭ A_μ потока;
- 5 – обработка потока, поступившего на ФЭ A_μ ;
- 6 – передача необработанного потока с ФЭ A_μ на ФЭ $A_\nu \in A_p$;
- 7 – передача обработанного потока с ФЭ A_μ на ФЭ $A_\nu \in A_p$;
- 8 – передача обработанного потока с ФЭ A_μ на ФЭ $A_\nu \in A_n$.

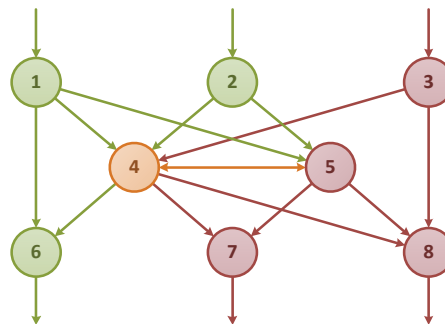


Рис. 1. Фрагмент диаграммы переходов из обобщённых состояний ФЭ при выполнении операций ИВ

Приведенную диаграмму можно представить в интегрированном виде (рис. 2).

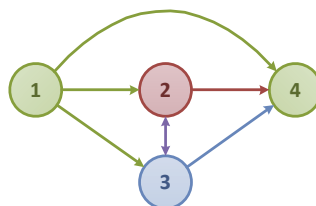


Рис. 2. Интегрированная диаграмма переходов из обобщённых состояний БКУ КА при выполнении операций ИВ

Здесь приняты следующие условные обозначения:

- 1 – операция приема функциональным элементом A_μ информационного потока;
- 2 – операция обработки на функциональном элементе A_μ информационного потока;
- 3 – операция хранения потока на функциональном элементе A_μ ;
- 4 – операция передачи потока с элемента A_μ .

Причем, обработка информации наблюдения предполагает не только применение алгоритмов сжатия без потери и/или с потерей качества, но и комплексирование информации, например, при выборе наилучшего источника ТМИ при параллельном приеме информации. Следует отметить исключительную значимость учета информационных потоков при планировании ИВ ввиду того, что именно информационный поток в результате и должен быть доставлен до потребителя космической информации для его последующей автоматической или автоматизированной обработки и анализа. Поэтому объемы информационных потоков, которые удастся доставить до потребителя, главным образом определяют эффективность функционирования системы ИВ СИТО.

Таким образом, при описании технологий обработки информационных потоков выше изложенным способом, появляется возможность выразить в общем виде заранее неизвестные объемы обрабатываемых v_{exi}^* и результирующих v_{bixi}^* потоков и времени обработки t^*

$$\frac{t^*}{T} = \frac{v_{exi}^*}{V_{exi}} = \dots = \frac{v_{bixi}^*}{V_{bixi}} = \dots$$

Перечислим основные показатели, оценивающие качество планирования ИВ СИТО, в наибольшей степени отвечающие условиям рассматриваемой задачи. Согласно проведенного анализа решаемой задачи наиболее общим показателем качества планирования распределенной обработки ТМИ является показатель полноты выполнения задачи, который характеризуется пропускной способностью СИТО с учетом полезности получаемой потребителем (оператором группы анализа) информации ИВ.

На основании результатов проведенного системного анализа суть решаемой задачи планирования ИВ СИТО на содержательном уровне сводится к следующему: необходимо найти такой план (планы) операций обработки, приема-передачи и хранения разнородных потоков ТМИ на динамически изменяющейся структуре СИТО с временными участками постоянства ее структуры, для которых были бы выполнены все основные пространственно-временные, технические, технологические и ресурсные ограничения, а выбранный выше показатель качества планирования принимал бы экстремальное значение.

Статическая модель планирования операций информационного взаимодействия ИВ СИТО

Для сведения динамической модели к ее статической интерпретации проведем интегрирование выражений, описывающих динамику изменения состояния системы, на интервалах постоянства структуры $T_k = (t_{k-1}, t_k], k = 1, \dots, L_\chi$, так как на интервалах постоянства структуры функции $e_{\chi ij}(t)$ постоянны. При этом функции управления $\xi_{\chi ijp}(t), \vartheta_{\chi ipd}(t)$ трансформируются в соответствующие переменные $\xi_{\chi ijp} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \xi_{\chi ijp}(t) dt, \vartheta_{\chi ipd} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \vartheta_{\chi ipd}(t) dt$, характеризующие время передачи потока p типа из $A_{\chi i}$ в $A_{\chi j}$ и время обработки потока p типа в $A_{\chi i}$ на интервале $T_k = (t_{k-1}, t_k], k = 1, \dots, L_\chi$.

Тогда выражения, характеризующие динамику разнородных информационных потоков, проходящих через $A_{\chi i}$, можно переписать в следующем виде

$$I_{\chi i \rho k} + y_{\chi i \rho (k-1)} + \sum_{j \in N_{\chi i}^-} \omega_{\chi j i \rho k} \cdot \xi_{\chi j i \rho k} = \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} \phi_{\chi i \rho d} \cdot \vartheta_{\chi i \rho d} + \sum_{j \in N_{\chi i}^+} \omega_{\chi i j \rho k} \cdot \xi_{\chi i j \rho k} + y_{\chi i \rho k} + z_{\chi i \rho k}, \quad (1.1)$$

здесь $I_{\chi i \rho k} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \psi_{\chi i \rho}(t) dt$ – количество потока ρ типа, поступившее в $A_{\chi i}$ извне на интервале T_k ;

$y_{\chi i \rho (k-1)}$ – количество потока ρ типа, сохраненное в запоминающемся устройстве $A_{\chi i}$ на интервале T_{k-1} ;

$\omega_{\chi i j \rho k}$ – интенсивность передачи потока ρ типа из $A_{\chi i}$ в $A_{\chi j}$ на интервале T_k ;

$\phi_{\chi i \rho d k}$ – интенсивность обработки потока ρ типа алгоритмом d типа в $A_{\chi i}$ на интервале T_k ;

$y_{\chi i \rho k}$ – количество потока ρ типа, сохраненное в запоминающемся устройстве $A_{\chi i}$ на интервале T_k ;

$z_{\chi i \rho k}$ – количество потока ρ типа, потерянное в $A_{\chi i}$ на интервале T_k ;

$N_{\chi i}^- = \{j \in N_{\chi} | e_{\chi j i}(k) = 1\}$ – множество номеров МКА и наземных пунктов (НП), из которых в $A_{\chi i}$ на интервале времени T_k возможна передача потока;

$N_{\chi i}^+ = \{j \in N_{\chi} | e_{\chi i j}(k) = 1\}$ – множество номеров МКА и НП, в которые из $A_{\chi i}$ на интервале времени T_k возможна передача потока.

Физический смысл выражения (1.1) состоит в следующем: весь поток ρ типа, поступивший в $A_{\chi i}$ либо извне, либо из других МКА на интервале постоянства структуры T_k , либо находящийся в запоминающем устройстве на предыдущем интервале постоянства структуры T_{k-1} , должен либо быть обработан, либо быть передан в другие МКА и НП, либо быть потерян.

Введем следующие переменные:

$x_{\chi i j \rho k} = \omega_{\chi i j \rho k} \cdot \xi_{\chi i j \rho k}$ – количество переданного потока ρ типа из $A_{\chi i}$ в $A_{\chi j}$ на интервале T_k ;

$g_{\chi i \rho d k} = \phi_{\chi i \rho d k} \cdot \vartheta_{\chi i \rho d k}$ – количество обработанного потока ρ типа в $A_{\chi i}$ на интервале T_k .

Тогда выражение (1.1) можно записать следующим образом:

$$(\sum_{j \in N_{\chi i}^+} x_{\chi i j \rho k} - \sum_{j \in N_{\chi i}^-} x_{\chi j i \rho k}) + (y_{\chi i \rho k} - y_{\chi i \rho (k-1)}) + \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} g_{\chi i \rho d k} + z_{\chi i \rho k} = I_{\chi i \rho k}. \quad (1.2)$$

В выражении (1.2) величины $x_{\chi i j \rho k}$, $y_{\chi i \rho k}$, $y_{\chi i \rho (k-1)}$, $g_{\chi i \rho d k}$, $z_{\chi i \rho k}$ являются неизвестными переменными, которые должны удовлетворять следующим ограничениям:

$$0 \leq \sum_{\rho=1}^P \frac{x_{\chi i j \rho k}}{\omega_{\chi i j \rho k}} \leq t_k - t_{k-1}; \quad 0 \leq \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} \sum_{\rho=1}^P \frac{g_{\chi i \rho d k}}{\phi_{\chi i \rho d k}} \leq t_k - t_{k-1}, \quad D_{\chi i \rho} = \overline{1, O_{\chi i \rho}}; \quad (1.3)$$

$$0 \leq \sum_{l=1}^{N_W^k} \frac{g_{\chi i l j \rho d k}}{\phi_{\chi i l j \rho d k}} + \sum_{l=1}^{N_W^k} \frac{x_{\chi i l-1 i l \rho k}}{\omega_{\chi i l-1 i l \rho k}} \leq t_k - t_{k-1} | d = 1, \quad (1.4)$$

где $W^k = \{w = \langle (i_1, i_2), (i_2, i_3), \dots, (i_{N_W^k-1}, i_{N_W^k}) \rangle\}$ – множество путей передачи информации на k -ом интервале постоянства структуры между элементами. Следует отметить, что специфика алгоритмов сжатия приводит к необходимости учитывать задержки, возникающие при поступлении информационного потока необходимого объема, заранее неизвестно какого именно.

Причем $\forall w$ существует конечное множество вариантов обработки и передачи потока ρ типа, которое строится на основе поиска путей прохождения информационных потоков по каналам связи с учетом их обработки в различных узлах (рис. 3).

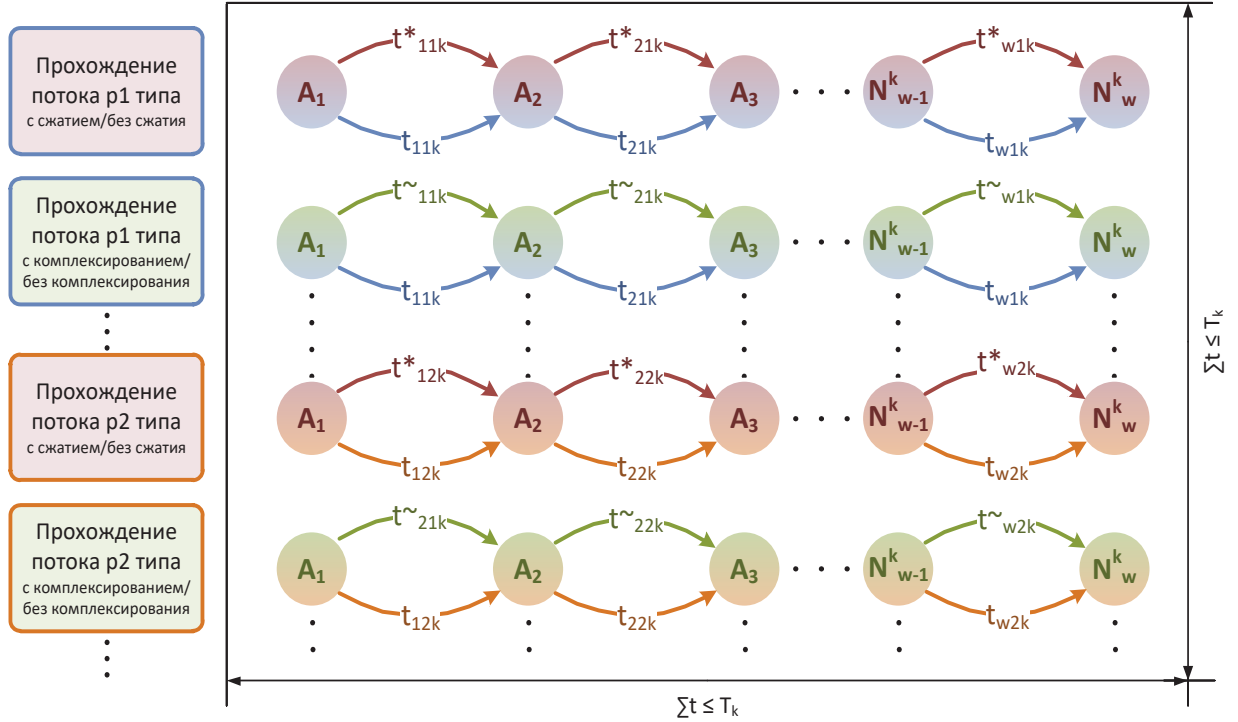


Рис. 3. Особенности прохождения информационных потоков по произвольному пути w

Здесь t_{ipk} – время передачи необработанного потока ρ типа с i -го узла на $i+1$ -й узел текущего пути на k -м интервале постоянстве структуры;

$t_{ipk}^* = \frac{g_{\chi i \rho d k}}{\phi_{\chi i \rho d k}} |d = 1$ – время передачи сжатого (обработанного алгоритмом $d=1$ типа) потока ρ типа с i -го узла на $i+1$ -й узел текущего пути на k -м интервале постоянстве структуры;

$t_{ipk}^{\sim} = \frac{g_{\chi i \rho d k}}{\phi_{\chi i \rho d k}} |d \neq 1$ – время передачи комплексированного алгоритмом d типа потока ρ типа с i -го узла на $i+1$ -й узел текущего пути на k -м интервале постоянстве структуры.

При формировании плана информационного взаимодействия многоспутниковой орбитальной группировки (МСОГ) поиск наилучшего решения может осуществляться при оптимизации следующих обобщенных показателей, характеризующих пропускную способность МСОГ с учетом полезности получаемой информации и энергозатраты:

- суммарный объем потерянных информационных потоков

$$J_{\chi 1} = \sum_{\rho=1}^p \gamma_{\rho} \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} z_{\chi i \rho k}; \quad (1.5)$$

- суммарный объем обработанных информационных потоков

$$J_{\chi 2} = \sum_{\rho=1}^p \lambda_{\rho} \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} g_{\chi i \rho d k}; \quad (1.6)$$

- суммарный объем сохраненных информационных потоков

$$J_{\chi 3} = \sum_{\rho=1}^p \alpha_{\rho} \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} y_{\chi i \rho k}; \quad (1.7)$$

- количество энергоресурсов, израсходованных на передачу и обработку потоков на каждом $A_{\chi i}$

$$J_{\chi 4 i} = \sum_{\rho=1}^p \sum_{j=1}^{n_{\chi}} r_{ij \rho} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} x_{\chi i j \rho k} + \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} \sum_{\rho=1}^p \pi_{i \rho d} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} g_{\chi i \rho d k}, i \in N_{\chi} \quad (1.8)$$

здесь γ_{ρ} – важность потока ρ типа, λ_{ρ} – полезность потока ρ типа, α_{ρ} – несрочность потока ρ типа, $r_{ij \rho}$ – расходы энергоресурсов при передаче единицы

потока ρ типа из $A_{\chi i}$ в $A_{\chi j}$, $\pi_{i\rho}$ – расходы энергоресурсов на обработку единицы потока ρ типа в $A_{\chi i}$.

Кроме того, можно использовать и другие частные показатели качества ИВ МСОГ. Например, потенциальную производительность системы информационного взаимодействия будем рассчитывать исходя из объемов обработанной информации, доставленной потребителю в течение всего рассматриваемого времени с помощью показателя $J_{res} = \sum_{\rho=1}^p \lambda_{\rho} \sum_{i \in I_{res}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} g_{\chi i \rho d k}$, где I_{res} – индексы МКА, передающего информацию заказчику.

Множество допустимых решений $\tilde{\Delta}_{\chi \beta}$ является выпуклым многогранным множеством, а критериальные функции решаемой задачи планирования ИВ МСОГ являются линейными. Указанные обстоятельства позволяют для нахождения планов ИВ из области Парето использовать стандартную методику скаляризации векторного показателя в виде аддитивной свертки Лагранжа [7,13-18] и введении в модель следующего критерия $J_{рез}(u_{\chi}) = \alpha_{q1} \cdot \alpha_{w11} \cdot \alpha_{w12} \dots J_{\chi 1}(u_{\chi}) + \alpha_{q2} \alpha_{w2} \cdot \alpha_{w22} \dots J_{\chi 1}(u_{\chi}) + \dots \rightarrow \max$,

где $\alpha_{w1} + \alpha_{w2} + \dots = 1$, $\alpha_{w1}, \alpha_{w2}, \dots \geq 0$ – коэффициенты важности показателей $J_{\chi 1}, J_{\chi 2}, \dots$,

$\alpha_{q1} + \alpha_{q2} + \dots = 1$, $\alpha_{q1}, \alpha_{q2}, \dots \geq 0$ – коэффициенты важности между группами показателей $\{J_{\chi 1}, \dots\}, \{J_{\chi 2}, \dots\}, \dots$, устанавливаемые ЛПР в конкретной обстановке функционирования МСОГ.

В общем случае показатели качества ИВ МСОГ могут быть сформированы как линейные комбинации переменных формируемой оптимизационной задачи, а итоговый критерий оптимизации – в виде целевой функции как линейной комбинации введенных показателей качества ИВ.

При необходимости для получения рациональных планов из Парето-оптимального множества в модель могут быть введены следующие нормировочные коэффициенты:

$-\beta_1 = (J_{рез}(u_{\chi}) | \alpha_{q1} \cdot \beta_1 \cdot \alpha_{w11} \cdot \alpha_{w12} \dots = 1, \alpha_{q2} \beta_2 \cdot \alpha_{w2} \cdot \alpha_{w22} \dots = 0, \dots)^{-1}$ – нормировочный коэффициент, обратный максимально возможному значению целевой функции при максимизации по первому показателю качества;

$-\beta_2 = (J_{рез}(u_{\chi}) | \alpha_{q1} \cdot \beta_1 \cdot \alpha_{w11} \cdot \alpha_{w12} \dots = 0, \alpha_{q2} \beta_2 \cdot \alpha_{w2} \cdot \alpha_{w22} \dots = 1, \dots)^{-1}$ – нормировочный коэффициент, обратный максимально возможному значению целевой функции при максимизации по второму показателю качества;

– и т.д.

Таким образом, задача планирования информационного взаимодействия МСОГ при сценарии S_{χ} в статической постановке окончательно имеет вид:

$$J_{рез}(u_{\chi}) = \alpha_{q1} \cdot \beta_1 \cdot \alpha_{w11} \cdot \alpha_{w12} \dots J_{\chi 1}(u_{\chi}) + \alpha_{q2} \beta_2 \cdot \alpha_{w2} \cdot \alpha_{w22} \dots J_{\chi 1}(u_{\chi}) + \dots \rightarrow \max, \quad (1.9)$$

$$(\sum_{j \in N_{\chi}^+} x_{\chi i j \rho k} - \sum_{j \in N_{\chi}^-} x_{\chi j i \rho k}) + (y_{\chi i \rho k} - y_{\chi i \rho (k-1)}) + \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} g_{\chi i \rho d k} + z_{\chi i \rho k} = I_{\chi i \rho k}, \quad (1.10)$$

$$R_{\chi 0 i} - \sum_{\rho=1}^p \sum_{j=1}^{n_{\chi}} r_{i j \rho} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} x_{\chi i j \rho k} - \sum_{\rho=1}^p \pi_{i \rho} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} g_{\chi i \rho d k} - v_{\chi i} = v_{\chi}, i \in N_{\chi}; \quad (1.11)$$

$$\sum_{\rho=1}^p y_{\chi i \rho k} + \eta_{\chi i k} = V_{\chi i}, i \in N_{\chi}, k = 1, \dots, L_{\chi}; \quad (1.12)$$

$$0 \leq \sum_{\rho=1}^p \frac{x_{\chi i j \rho k}}{\omega_{\chi i j \rho k}} \leq t_k - t_{k-1}; 0 \leq \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} \sum_{\rho=1}^p \frac{g_{\chi i \rho d k}}{\phi_{\chi i \rho d k}} \leq t_k - t_{k-1}; \quad (1.13)$$

$$0 \leq \sum_{d \in D_{\chi i \rho}} \sum_{l=1}^{N_{\chi}^k} \frac{g_{\chi i l \rho d k}}{\phi_{\chi i l \rho d k}} + \sum_{l=2}^{N_{\chi}^k} \frac{x_{\chi i l-1 i l \rho k}}{\omega_{\chi i l-1 i l \rho k}} \leq t_k - t_{k-1}, \quad (1.14)$$

$$i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}, \forall w \in W^k = \{w = \langle (i_1, i_2), (i_2, i_3), \dots, (i_{N_{\chi}^k-1}, i_{N_{\chi}^k}) \rangle\};$$

$$y_{\chi i \rho k} \geq 0, z_{\chi i \rho k} \geq 0, v_{\chi i} \geq 0, \eta_{\chi i k} \geq 0, v_{\chi} \geq 0, i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}. \quad (1.15)$$

и может решаться методами последовательного улучшения планов с двусторонними ограничениями на искомые переменные.

Алгоритм построения диаграммы операций распределенной обработки информации в системе информационно-телеметрического обеспечения

Для разработки диаграммы операций распределенной обработки была использована исходная схема, представленная на рис. 1.

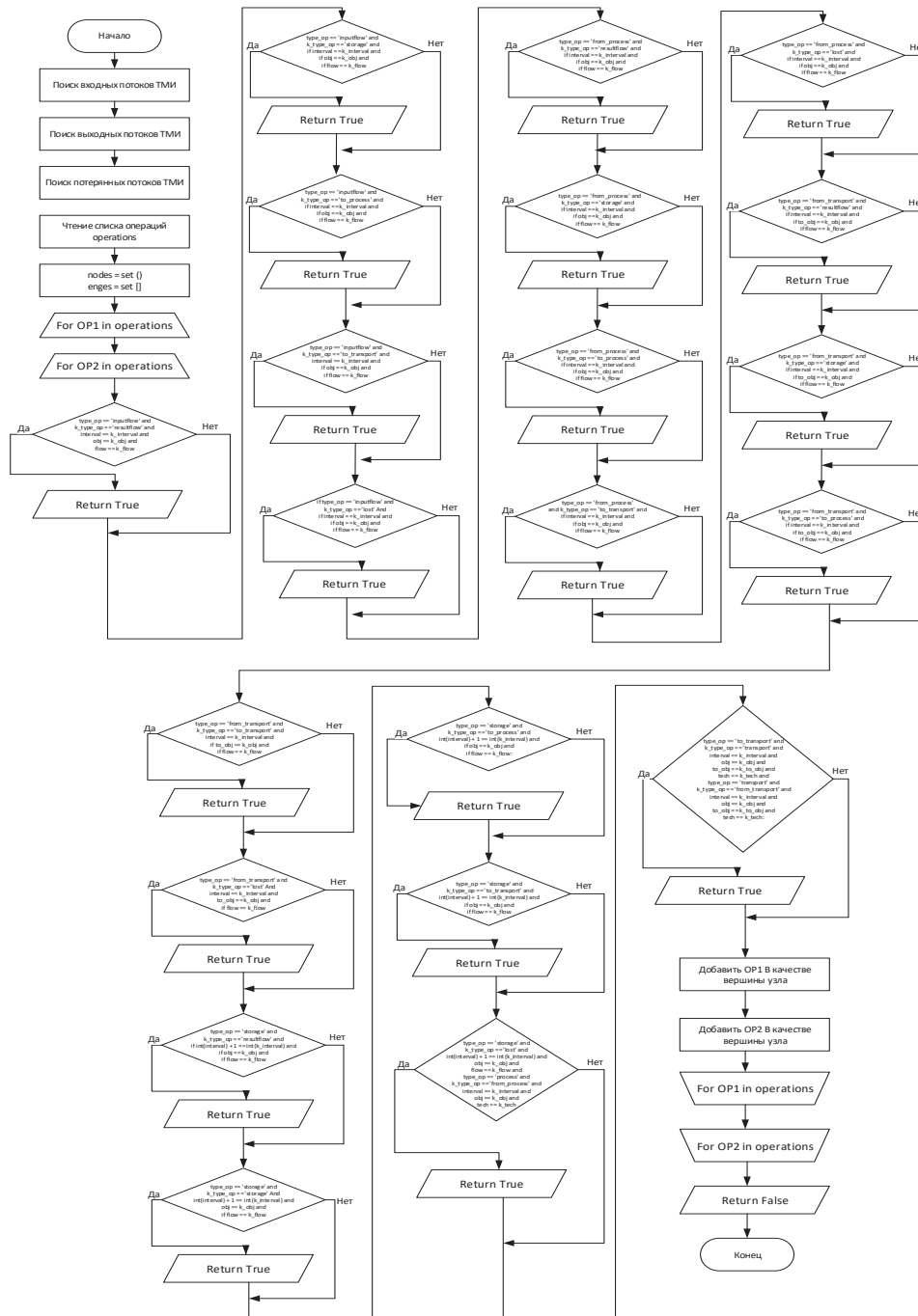


Рис. 4. Схема алгоритма построения диаграммы операций распределенной обработки информации в СИТО

На её основе был сформирован алгоритм, необходимый для решения задач данного исследования. При создании алгоритма построения диаграммы операций важно учитывать все потенциальные изменения потоков технической и информационной модели (ТМИ) в

процессе выполнения операций в системе информационно-технического обеспечения (СИТО).

Концепция алгоритма заключается в итеративном анализе пар операций из потокового плана информационной войны (ИВ), которые могут быть связаны последовательным выполнением. Структура предложенного метода иллюстрируется на диаграмме, представленной на рис. 4.

Разработанный алгоритм приводит к созданию графовой модели, реализуемой на языке программирования высокого уровня Python с использованием библиотеки NetworkX при заданных входных данных (см. рис. 5). В этом графе вершинами являются потоки ТМИ и операции, выполняемые с ними. Ребра соединяют потоки с операциями, причем их вес отражает время выполнения операций (для ребер, исходящих из вершин-операций) и объем информации в потоках (для ребер, исходящих из вершин-потоков).

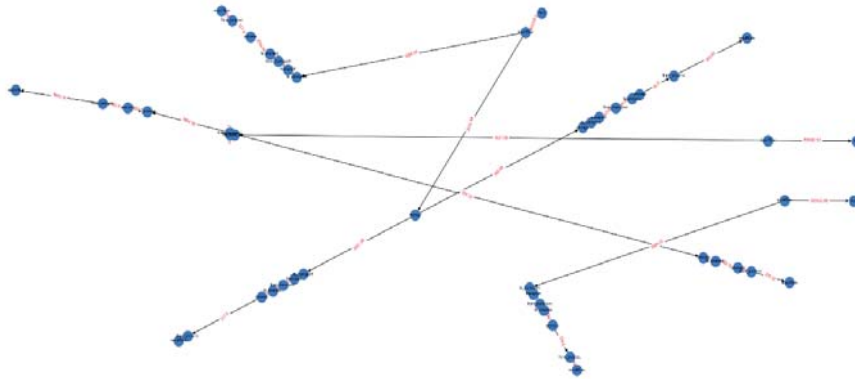


Рис. 5. Граф диаграммы операций распределенной обработки информации в СИТО

Работа с таким графом позволяет оператору-специалисту выявлять больше семантических связей по сравнению с анализом плана в виде структурированного текста XML. Тем не менее, для формирования диаграммы BPMN нецелесообразно использовать прямую выгрузку данных из графа, так как стандартные методы неэффективны при анализе параллельных процессов. Имитация BPMN требует точного и последовательного следования операциям.

Чтобы преобразовать граф в необходимый формат (для выполнения операций как параллельно, так и последовательно), было проведено выделение цепочек операций обработки информации в распределенной системе с применением стандартного обхода графа в ширину (см. рисунок 6).

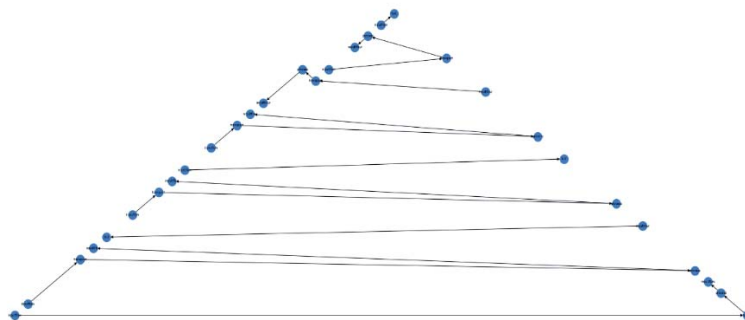


Рис. 6. Диаграмма операций распределенной обработки информации в СИТО

Созданный граф включает в себя последовательные цепочки операций передачи и обработки информации ТМИ. На основе этого графа была построена диаграмма BPMN, представленная на рис. 7. Оператору указанный план должен быть понятным. Для этого его необходимо визуализировать и представить в удобном виде.

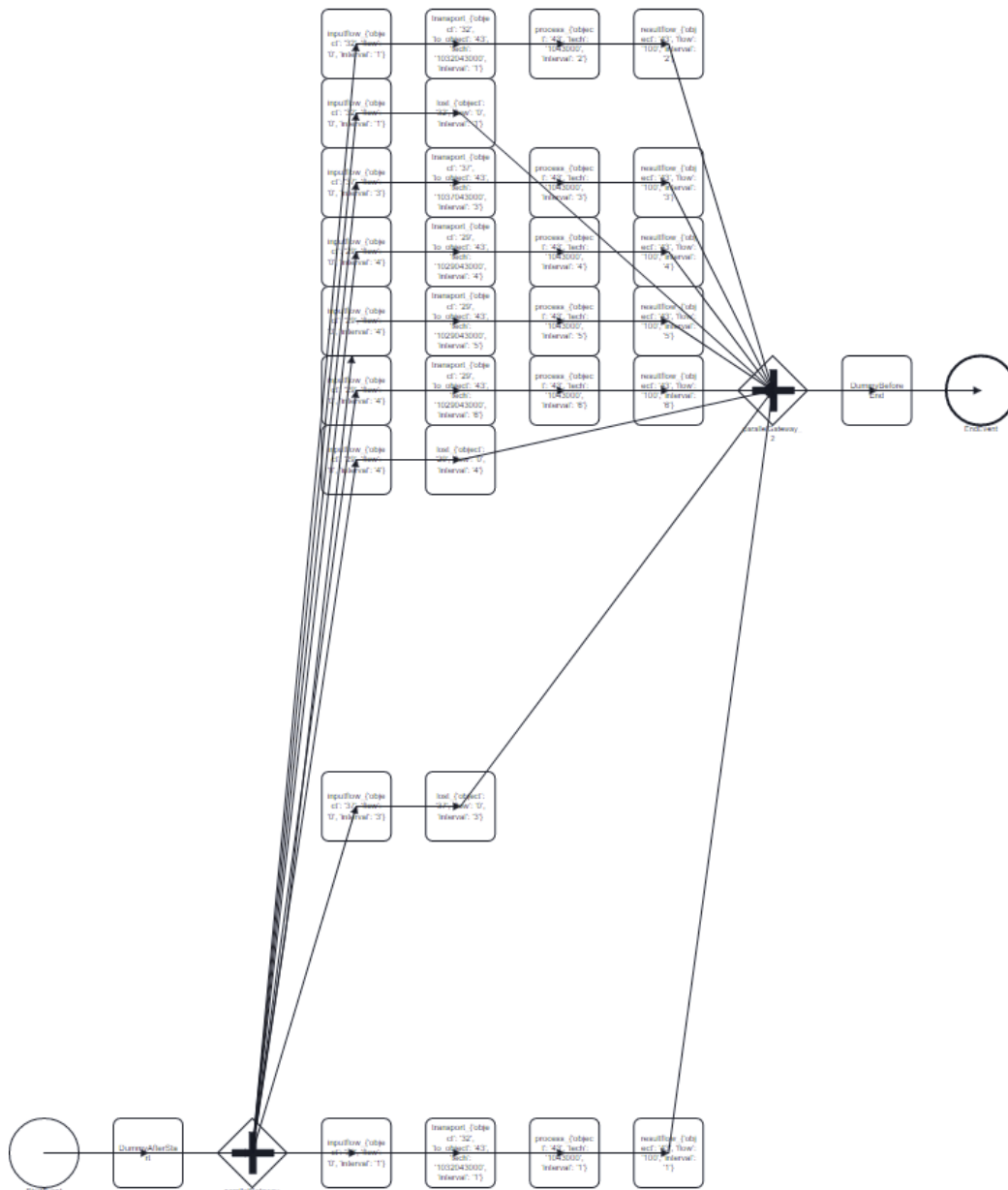


Рис. 7. Полученный граф диаграммы операций организация информационной обработки в распределенных системах информационных технологий

Таким образом, обладая стандартизированными диаграммами, оператор по обработке и анализу ТМИ может проводить имитационные эксперименты с использованием популярных программных средств и принимать обоснованные решения о структуре распределенной обработки и анализа ТМИ.

Заключение

Данный подход можно использовать для работы алгоритма формирования области решений задач планирования операций в реальном масштабе времени.

Предполагаемая методика обладает научной новизной, заключающейся в новом подходе к распределенной обработке массивов ТМИ, заключающемся в комплексном учете особенностей алгоритмов обработки, взаимосвязей между операциями с различными приоритетами, выполняемыми узлами вычислительной сети, используемыми ресурсами и временными ограничениями в условиях структурной динамики и предельных информационно-технических возможностей СИТО.

Список литературы

1. Методы обработки и анализа телеметрической информации при управлении космическими средствами / В.В. Казаков, А.Н. Кравцов, Е.Б. Самойлов // – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011. – 152 с.
2. **Колышонкова О. В., Заходякин Г. В.** Планирование цепи поставок предприятия нефтегазохимического комплекса с использованием системы Oracle Strategic Network Optimization (на примере производства полипропилена) // Успехи в химии и химической технологии. 2011. Т. 25. № 13 (129). С. 33-38
3. **Павлов Д.А.** Обоснование архитектуры информационного взаимодействия системы обработки данных ДЗЗ / Д. А. Павлов, А. Н. Павлов, В. М. Сафонов // Информатизация и связь. № 5. 2020. С. 141-150
4. **Соколов Б.В.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов / С. В. Микони, Б. В. Соколов, Р.М. Юсупов // М.: РАН, 2018. – 314 с.
5. **Павлов Д.А.** Функциональная реконфигурация чувствительных элементов системы управления движением космического аппарата / Д. А. Павлов, А. Н. Павлов, А. Ю. Кулаков // Труды СПИИРАН. Вып. № 5 (28). 2013. С. 169-181
6. **Павлов Д.А.** Исследование структурно-функциональной живучести малых космических аппаратов / Д.А. Павлов, А.Н. Павлов, В.Н. Воротягин, А.Б. Умаров, А.Ю. Кулаков // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Вып. 8. - СПб. 2020. С. 43-50