

**ПОДХОД К АГРЕГИРОВАНИЮ ДАННЫХ
О ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТАХ
В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

Бреслер И.Б., Пильщиков Д.Е., Семенов С.А.*, Кореньков В.М.**

*Научно-исследовательский институт информационных технологий

**Конструкторское бюро «Лира»

В статье рассмотрен подход и на его основе предложен метод и алгоритм агрегирования данных о высокодинамичных групповых объектах в информационной системе с ограниченными возможностями. Исследуется качество функционирования алгоритма, реализующего метод.

In the article the approach and basing on him method to aggregation data about high dynamic group objects in information system with limited capasis is considered. It is investigated the quality of processing of algorithm making method.

Ключевые слова: агрегирование данных; нечеткие отношения; информационные системы.

Keywords: data aggregation; fuzzy relations; informational systems.

Пусть имеется сложная иерархическая информационная система S , осуществляющая отображение данных о высокодинамичных объектах, действующих в составе компактных групп в зоне ее ответственности. Система включает технические и эргатические элементы. Совокупность технических элементов представлена измерительными элементами, каналами обмена информацией и средствами ее обработки

$$S = \bigcup_N s_n,$$

где $n = [1, N]$ – n -ый элемент системы

Пусть X – универсальное множество объектов, действующих в границах зоны ответственности информационной системы. Элементом этого множества является отдельный объект $x \in X$, который характеризуется векторами параметров ν , определяющих его положение в пространстве параметров на момент времени $t = [0, T]$ и признаков, т. е. $x = x_i(\nu, p, t)$.

Тогда

$$X = \bigcup_I x_i(\nu, p, t),$$

где I – количество объектов, находящихся в границах зоны ответственности информационной системы или мощность универсального множества X , $cardX = I$.

Осуществляя отображение обстановки в зоне ответственности, система воздействует на нее оператором R_S , который в соответствии с [1] представляет собой системный оператор

$$R_S \supseteq R^s \times S,$$

где $R^s = \{ \langle a_n^s, p_{nq}^{sTp}, p_{nq}^s \rangle \in A^s \times P^{sTp} \times P^s : \{ g_{nq}^{sTp} = 1, \chi_{nq}^s = 1 \}, \forall n = [1, N], q \in Q \}$ - оператор отображения обстановки на s_n - ом элементе системы.

Элементами кортежей, входящих во множество R^s являются:

- алгоритм $a_n^s \in A^s$, принадлежащий подмножеству, реализованных на элементе системы алгоритмов;
- потребные для его реализации вычислительные ресурсы по типам ресурсов p_{nq}^{sTp} ;
- наличные ресурсы по типам ресурсов p_{nq}^s .

Результатом воздействия оператора является множество X_R , описывающее информацию об обстановке в зоне ответственности и представляющее собой отображение прообраза множества X

$$X_R = R_S(\{X\}) = R_S(\{ \bigcup_I x_i(\nu, p, t) \}) = \bigcup_k x_{Rk}(\nu_R, p_R, t_R), x_{Rk} \in X_R, I \rightarrow K, X \Leftrightarrow X_R,$$

$$x_i(\nu, p, t) \rightarrow x_{Rk}(\nu_R, p_R, t_R),$$

где $\text{card } X_R = K$ - мощность подмножества отображенных системой объектов, т. е. множество отметок от объектов, информация о которых отображается в системе сбора и обработки;

$k = [1, K]$ - номер объекта;

$x_{Rk}(\nu_R, p_R, t_R) \in X_R$ - информация о k -ом объекте, отображаемая в системе сбора и обработки.

В связи с тем, что элементы информационной системы обладают вполне определенными наличными ресурсами P^s и характеризуются соответствующей производительностью - N'_s , в определенных условиях на различных уровнях системы возникает ситуация информационной перегрузки, когда количество объектов, информация о которых имеется на входах соответствующих элементов системы и потребителей информации превышает их возможности по обработке, т. е. $\text{card } X_R = K \geq N'_s$.

В условиях информационной перегрузки в системе происходят потери информации, т. е. данные о части объектов не поступают в систему сбора и обработки или определенному потребителю, увеличиваются задержки информации, она «стареет», ухудшается ее качество и соответствующим образом снижается эффективность информационной системы.

Цель работы - предложить подход к минимизации потерь информации реального масштаба времени в условиях информационной перегрузки сложной иерархической системы с ограниченными возможностями на основе агрегирования данных об объектах, действующих компактными группами.

Пусть в зоне ответственности системы находится X - множество объектов, действующих J компактными группами и решающих общую задачу Z . Общую задачу можно декомпозировать на совокупность частных задач, каждая из которых z_j решается группой или одиночным объектом

$$Z = \bigcup_J z_j, j = [1, J].$$

Множество объектов $X = \{x_i\}, x_i \in X$ распределяется по J группам в соответствии с частными задачами

$$x_{ij} \in X_j, X_j \subseteq X, X \Leftrightarrow Z, X_j \Leftrightarrow z_j, z_j \in Z.$$

Можно утверждать, что отдельные объекты в группе находятся между собой в определенном отношении, которое характеризует степень участия каждого из составляющих группу в решении общей ее задачи и взаимное отношение при ее решении между составляющими группу.

При выполнении задач множество объектов подвергается воздействию совокупности факторов Q (предсказуемых и непредсказуемых), изменяющих исходное их распределение по задачам и группам

$$X \times Q = X_Q, \{X_i\} \times \{q_i\} = X_Q, X_Q \subseteq X, q = [1, Q].$$

Пусть $\varphi : X_Q \rightarrow X_{R_s}$ - заданное отображение, получаемое при воздействии оператора обработки R_s , а X_R - подмножество отметок от объектов, являющееся результатом обработки, то есть обнаружения и оценки их кинематических параметров и признаков.

Тогда

$$X_R \rightarrow Z_R \subset Z, \text{ то есть } \left\{ \bigcup_i x_{kjR_s} \right\} \rightarrow \bigcup_i z_{jR_s}, k = [1, K], j = [1, J].$$

Рассмотрим, как отношение между объектами в группе отображается информационной системой.

Процесс отображения данных об обстановке связан с актуализацией целого ряда неопределенностей, имеющих различную природу. Процесс и результат отображения базируются на применении формальных и логических методов, специальных технических «языков», в которых используются системы цифровых кодов, бинарная логика, соответствующий алфавит символов и т. п., описывающих в информационной системе внешние воздействия. Этим языкам свойственна так называемая «омонимическая» или семантическая неопределенность. Поэтому одной из составляющих неопределенности является неопределенность, носящая лингвистический характер. Отображение отношения между объектами в группе и представление их в системе осуществляется с использованием «технического языка». В этом случае лингвистическая неопределенность доминирует в «свертке» неопределенностей, влияющих на результат отображения. В условиях временных ресурсных ограничений, отсутствия возможности точного определения решаемой группой задачи и ограничений, свойственных собственно используемому «языку», их «алфавиту» неопределенность такого рода носит характер нечеткости. Поэтому

для анализа процессов, происходящих при отображении отношений между объектами в группе в информационной системе в условиях временных и ресурсных ограничений целесообразно использовать аппарат теории нечетких множеств.

Пусть X_j некоторое подмножество (группа объектов) множества X , находящееся в определенном отношении, которое характеризуется функцией принадлежности $\mu(x)$. В соответствии с принципом обобщения [2] образ X_j при отображении φ определяется как нечеткое подмножество множества X_{jRs} , представляющее собой совокупность пар вида

$$X_{jRs} = \{(x_{Rs}, \mu_j(x_{Rs}))\},$$

$$(x_{Rs}, \mu_j(x_{Rs})) = (\varphi(x), \mu(x)), x \in X,$$

где $\mu_j : X_{jRs} \rightarrow [0, 1]$ - функция принадлежности образа.

Функцию принадлежности μ_k можно записать в виде

$$\mu_k(x_R) = \sup_{x \in \varphi^{-1}(x_R)} \mu(x), \quad x_R \in X_{kR},$$

где множество $\varphi^{-1}(x_R)$ для любого фиксированного $x_R \in X_R$ имеет вид

$$\varphi^{-1}(x_R) = \{x \in X / \varphi(x) = x_R\},$$

то есть представляет собой множество всех элементов $x \in X$, образом каждого из которых при отображении φ является элемент x_R .

В случае нечеткого отображения

$$\varphi : X \xrightarrow{H} X_R.$$

Описывается нечеткое отображение функцией вида

$$\mu_R : X \times X_R \rightarrow [0, 1],$$

нечетким отношением R , причем значение $\mu_R(x, x_R)$ определяет отношение отображения объекта x .

Функция $\mu_R(x, x_R)$ есть функция принадлежности нечеткого множества отображения в подмножество X_R , представляющего собой нечеткий образ объекта x (т. е. нечеткое подмножество) при данном отображении.

То есть в ходе отображения информации в системе могут возникать ошибки, приводящие к дублированию, размножению данных и появлению ложной информации. Это в свою очередь так же создает предпосылки для информационной перегрузки и увеличению потерь информации в системе.

Несмотря на возникающие при отображении ошибки необходимо чтобы отображение было адекватным или влияние ошибок и потерь информации при отображении в условиях временных и ресурсных ограничений было несущественным, то есть

$$Z_{Rs} \Leftrightarrow Z.$$

По множеству отображаемых реальных и ложных отметок от объектов на различных уровнях информационной системы осуществляется оценка обстановки, определение совокупности решаемых объектами и их группами задач $\bigcup_I z_{iRs} \subset Z_{Rs}$, формирование и выдача соответствующей информации потребителю для реализации своевременных и точных воздействий по объектам. Причем от адекватности, то есть от полноты, точности и достоверности отображения зависит степень достижения цели функционирования системы и надсистем ею обеспечиваемых или их качество и эффективность.

Если K – показатель качества или адекватности отображения обстановки в зоне ответственности системы, то в соответствии с целевым предназначением информационной системы показатель эффективности системы можно представить следующим образом

$$\Theta = f(K),$$

В условиях временных и ресурсных ограничений из-за информационной перегрузки и возникающих ошибок, потерь информации при отображении эффективность системы снижается.

Потери информации в системе сбора и обработки можно определить следующим образом $a = (1 - K)$.

Основными направлениями, обеспечивающими сохранения требуемой эффективности системы в условиях информационной перегрузки и, возникающих при этом потерь информации, являются:

- повышение информационных возможностей системы за счет увеличения вычислительных возможностей технических средств;
- повышение информационных возможностей системы за счет реализации соответствующих алгоритмов обработки информации, обеспечивающих эффективное функционирование системы в условиях информационной перегрузки.

Наиболее привлекательным с экономической точки зрения [3] является второе направления, в рамках которого один из возможных путей, снижающих остроту проблемы перегрузки, состоит в разработке и реализации в системе методов и алгоритмов обработки агрегирования учитывающих групповые действия объектов при удовлетворении требований потребителей к ее качеству информации.

В формализованном виде это означает, что если множество X можно разбить на J непересекающихся подмножеств

$$X = \bigcup_j X_j, \bigcap_j X_j = \emptyset \quad X_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{lj}\},$$

то представление каждого подмножества $X_j \subset X$ одним показателем

$$x_j = \varphi_j(X_j), (j = 1, J)$$

и есть агрегирование информации.

Агрегирование информации используется для однородных, непосредственно соизмеримых объектов. Одними из основных видов агрегирования информации являются объединение и изменение масштабов. Основные проблемы агрегирования связаны с определением условий, при которых можно избежать потерь информации в системе. В случае, когда невозможно избежать потерь - найти метод,

снижающий ошибки агрегирования (макроподход) или ошибки упрощения (микрподход). Такой подход согласуется с идеей повышения адекватности отображения и эффективности системы.

Таким образом, для повышения эффективности системы в условиях информационной перегрузки множество методов агрегирования и обработки агрегированной информации A_Θ , реализуемых в системе, должно обеспечить минимизацию потерь информации при удовлетворении требований к методу и потребителей информации к ее качеству

$$A^0 = \text{Arg} \min_{A \in A_\Theta} \alpha(A) = \{A \in A_\Theta | \alpha(A) = \min_{A \in A_\Theta} \alpha(A')\},$$

$$a(A) = F(A, \sigma_S, \Delta_S, N'_1, X_R, \Theta),$$

где

- Θ – множество требований к алгоритмам обработки информации, A_Θ – множество методов, удовлетворяющих требованиям потребителей информации;
- $a(A) = 1 - K^A$ – потери информации в системе при выбранном множестве методов и алгоритмов агрегирования A
- σ_S, Δ_S, N'_1 – точность, разрешающая способность и пропускная способность системы сбора и обработки информации о воздушной обстановке.

Для агрегирования информации при обеспечении минимизации ее потерь необходимо выделить некий агрегированный признак, характеризующий группы отметок – отображений объектов. Таким признаком для отдельной группы отметок может быть признак, характеризующий боевой порядок или взаимное расположение отметок в пространстве. Для его выделения необходимо формально описать боевой порядок группы отметок. Это можно сделать путем составления отношения, описывающего связи между объектами, характеризующие общность решаемых задач, в данном случае связи между отметками в группе.

Отношение является самой общей формой описания связей между объектами. Отношением, построенным на множестве объектов и групп объектов можно характеризовать их распределение в пространстве параметров и признаков.

Обозначим это отношение символом R_Γ и рассмотрим его на множестве X_R .

Отношением R_Γ на множестве отображенных отметок от объектов X_R представляет собой подмножество декартова произведения $X_R \times X_R$. Задать отношение на множестве X_R означает указать все пары элементов $x, y \in X_R$ такие, что x и y связаны отношением R_Γ , то есть $xR_\Gamma y$.

Информационная система не в состоянии непосредственно «измерить» или оценить решаемые объектами задачи в составе групп и задачи групп. Суждение о них, а точнее об их общности можно вынести только по косвенным характеристикам. Такими характеристиками и являются характеристики боевого порядка, или взаимного расположения в пространстве параметров и признаков. В связи с косвенным их характером по отношению к решаемым задачам, которые и определяют взаимное расположение объектов, использованием «технического языка» для представления информации в системе, временными и ресурсными ограничениями, возникающая при этом лингвистическая неопределенность носит характер нечеткости. Отношение, характеризующее группы отметок от объектов в рамках

подхода формализации нечеткости, базирующегося на обобщении понятия элемента подмножеству группы объектов, можно представить в виде нечеткого отношения сходства

$$R = \{(x, y)/(x, y) \in X \times X, \mu(x, y) = [0, 1]\}, x = x(\nu_n, t_n, p_n), y = y(\nu_n, t_n, p_n), x, y \in X,$$

где $n=[1, N]$ – номер объекта.

В соответствии с требованиями потребителей представление определенной группы отметок от объектов должно осуществляться в виде конечного счетного множества. Поэтому удобно воспользоваться понятием множества уровня на нечетком отношении принадлежности (второй подход к формализации нечеткости)

$$R_\beta = \{(x, y)/(x, y) \in X \times X, \mu(x, y) \geq \beta\}, \beta = [0, 1],$$

где β – уровень значимости множества R_β на нечетком отношении сходства группы отметок.

Допустим, что агрегирование данных проведено без потерь. В сложной иерархической информационной системе осуществляется обработка этих данных на каждом из уровней иерархии. В ходе обработки возникают ошибки, в результате которых и соответствующие потери информации. Определим требования к методу агрегирования с точки зрения минимизации потерь информации в системе при преобразовании и обработке агрегированных данных, т. е. требования к методу, обеспечивающему минимизацию мощности множества ошибок O , возникающих при обработке агрегированной информации.

В общем случае обработка информации в системе состоит в объединении данных, поступающих в различные моменты времени. Пусть в m_1 и $m_1 + 1$ моменты в систему обработки поступает информация о j -ом агрегированном групповом объекте, которая представлена в виде пространственно протяженных объектов и описывается подмножествами X_{RjAm_1} и X_{RAjm_1+1} (рис. 1).

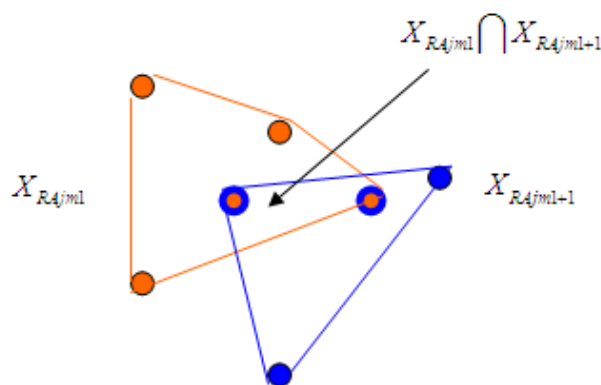


Рис. 7:

В результате обработки формируется объединенная информация о j -ом пространственно протяженном групповом ВЗО X_{RAj}^*

$$X_{RAj}^* = \bigcup_{j,m} \{X_{RAjm}\} = \{\bar{X}_{RAjm1} \cap X_{RAjm1+1}\} \cup \{X_{RAjm1} \cap \bar{X}_{RAjm1+1}\} \cup \{X_{RAjm1} \cap X_{RAjm1+1}\}$$

Из выражения видно, что подмножество ошибки, возникающей при объединении информации о k -м агрегированном ВЗО, поступающей в различные моменты времени, является подмножеством пересечения множеств агрегированных ВЗО

$$O_j \subseteq \left\{ X_{RAjm1} \cap X_{RAjm1+1} \right\} = \bigcap_m X_{RAjm}, m = [m_1, m_1 + 1].$$

Пусть в систему обработки на m -ом периоде обработки поступают агрегированные данные по j -ому групповому объекту. Для всех M_1 -сообщений о j -ом объекте на m -ом периоде обработки

$$O_m \subseteq \bigcap_{M_1} X_{RAjm1}, m_1 = [0, M_1] \quad .$$

Очевидно, что когда пересечение множеств является пустым - ошибка минимальна, то есть

$$\bigcap_{M_1} X_{RAjm1} \supseteq O_m = \emptyset \rightarrow \text{card} O_m = 0.$$

Допустим, что в разные моменты времени на m -ом периоде обработки в систему обработки поступают агрегированные данные о $J \subseteq N_1$ ВЗО. Тогда

$$\bigcap_J \left\{ \bigcap_{M_1} X_{RAkm1} \right\} = \bigcap_{M_1} \left\{ \bigcap_J X_{RAjm1} \right\}.$$

Если

$$\bigcap_{M_1} \left\{ \bigcap_J X_{RAjm1} \right\} = \emptyset, O = \emptyset \rightarrow \text{card} O = 0.$$

То есть ошибки при объединении отсутствуют, когда множество пересечения агрегированных подмножеств групп отметок является пустым. Тогда метод агрегирования должен выделять непересекающиеся компактные группы отметок от объектов. То есть для минимизации ошибок, возникающих при обработке информации, необходимо при агрегировании формировать подмножества непересекающихся групп отметок, в которых расстояния в пространстве параметров и признаков между объектами в группе существенно меньше расстояний между группами отметок и выделять на каждой из них агрегированный признак. В качестве агрегированного признака целесообразно использовать такой признак, который является уникальным для данной группы, то есть обеспечивает однозначное отнесение информации о данной группе именно к ней и только к ней. Это и обеспечит минимизацию ошибок при агрегировании и обработке. Таким признаком может быть признак, характеризующий боевой порядок групп, который формально можно описать нечетким отношением принадлежности, характеризующим их взаимную близость в координатном пространстве.

Пусть X - универсальное множество альтернатив, то есть универсальная совокупность всевозможных вариантов агрегирования. Нечеткой целью в X является

нечеткое подмножество, которое будем обозначать X_j^B , то есть нечеткое подмножество близких по координатам отметок. Опишем нечеткую цель функцией принадлежности $\mu_{Bj} : X \rightarrow [0, 1]$. Ограничения определяют множество допустимых альтернатив и также описываются подмножествами множества X .

В качестве подмножеств ограничений определим подмножество ограничений по скорости передвижения объектов и подмножество непротиворечивых с точки зрения объединения отметок в группы признаков.

Подмножество ограничений по скорости является нечетким и описывается функцией принадлежности $\mu_v : X \rightarrow [0, 1]$.

Подмножество непротиворечивых признаков является четким и описывается функцией принадлежности принимающей только два значения $\mu_p : X \rightarrow 0$, если признаки противоречивы и $\mu_p : X \rightarrow 1$, если признаки непротиворечивы с точки зрения объединения объектов в одну группу.

Множество допустимых альтернатив определяется с использованием четкого ограничения по непротиворечивости признаков и ограничения по скорости. На нем строится соответствующее отношение сходства

$$R_M^B = \{(x_B, y_B) / (x_B, y_B) \in X_B \times X_B, \mu_B(x_B, y_B) = [0, 1]\}.$$

С точки зрения объединения отметок от объектов в одну группу известную совокупность признаков можно разделить на следующие классы:

- противоречивые признаки;
- непротиворечивые признаки;
- признаки, запрещающие объединение объекта в группу.

С учетом проведенной классификации выражение для расчета функции принадлежности четкого подмножества ограничений по признаковой информации выглядит следующим образом

$$\mu_P(x_B, y_B) = \min \{ \mu_Z(x_B), \mu_Z(y_B), \mu_H(x_B, y_B) \},$$

где $\mu_Z(x_B), \mu_Z(y_B)$ - функция принадлежности четкого ограничения по признакам, запрещающим объединение данных об объектах x_B, y_B в группу соответственно; $\mu_H(x_B, y_B)$ - функция принадлежности четкого ограничения по непротиворечивости остальных признаков.

С учетом признаковой информации подмножество допустимых альтернатив выглядит следующим образом

$$\mu_B(x_B, y_B) = \min \{ \mu_{Bk}(x_B, y_B), \mu_{Pv}(x_B, y_B) \}.$$

При этом на множестве всех отметок ВЗО проведено формирование групп отметок по координатам и признаковой информации, то есть, выделены классы сходства отметок. Для окончательной классификации, то есть для выделения стабильных во времени групп отметок необходимо учесть ограничение по скорости.

Прежде чем это осуществить, необходимо представить агрегированную информацию в виде подмножества непересекающихся классов и определить эталон для

каждого. Для чего преобразуем построенное отношение сходства в нечеткое отношение строгого предпочтения и выделим на нем четко недоминируемые альтернативы

$$\mu_B^H(x_B) = 1 - \sup_{x_B, y_B \in X_B} [\mu_B(y_B, x_B) - \mu_B(x_B, y_B)].$$

Уточнение полученной классификации проведем с учетом нечеткого ограничения по скорости

$$\mu_B(x_B, y_B) = \min \{ \mu_B^H(x_B, y_B), \mu_V(x_B, y_B) \}.$$

Таким образом, метод агрегирования информации о воздушной обстановке, обеспечивающий минимизацию ее потерь в условиях информационной перегрузки, при удовлетворении требований потребителей информации к ее качеству, состоит:

- в формировании нечеткого отношения сходства на множестве отметок трасс воздушных объектов;
- в определении множеств нечетко определенной цели при нечетких множествах ограничений нечетких подмножеств групп;
- в преобразовании матрицы нечеткого отношения сходства, с выделенными на нем подмножествами групп, в нечеткое отношение строгого предпочтения и выделении на нем четко недоминируемых альтернатив;
- в уточнение сформированных групп с учетом нечеткого ограничения по скорости.

В дальнейшем в зависимости от ограничений в информационных возможностях системы (например, по производительности) и требований потребителей данные о сформированной группе объектов могут быть представлены:

- эталонами – наиболее связанными в пространстве параметров и признаков объектами с остальными составляющими группу и косвенно характеризующими боевой порядок и обобщенными данными об остальных составляющих группу;
- эталонами и данными о составляющих группу, в относительной системе координат группы с началом отсчета, совмещенным с координатами эталона без изменения масштаба относительной системы координат или с измененным масштабом.

Одним из основных требований к алгоритму с точки зрения реализации является требование, связанное с минимизацией потребных для реализации алгоритма вычислительных ресурсов и функционирования в реальном масштабе времени, что позволяет минимизировать задержки информации при обработке и соответственно ее потери за счет ухудшения качества.

Проведенные предварительные оценки показали, что алгоритм, полностью реализующий разработанный метод, может потребовать вычислительный комплекс

с быстродействием превышающим 10 млрд. операций в секунду. Средний современный процессор имеет производительность на уровне $1 \div 3$ млрд.оп./с., поэтому очевидна проблематичность реализации полного алгоритма в информационной системе с ограниченными ресурсами. В связи с этим, при разработке алгоритма потребуется рационализация, «усечение», упрощение метода, что является оправданным, особенно если алгоритм должен обеспечить снижение влияния неопределенности в условиях перегрузки системы.

Упрощение метода осуществлялось путем замены ресурсоемкой операции транзитивного замыкания на совокупность близких по результату операций, обеспечивающих хорошую сходимость и приемлемую точность, но являющейся значительно более экономичной:

- операции выделения подмножества уровня на нечетком отношении принадлежности;
- ранжирование матрицы нечеткого отношения принадлежности по числу значащих функций и по сумме их значений;
- выделение носителя подмножества уровня и формирование бинарного отношения;
- применения усеченного алгоритма выделения минимального числа эталонов [4], каждый из которых представляет соответствующую группу объектов.

Проведенные оценки показали, что реализация подобных операций потребует значительно меньше ресурсов по сравнению с существующими в системе классическими алгоритмами и на несколько порядков меньше, чем операция транзитивного замыкания.

Результаты оценки качества функционирования разработанного усеченного алгоритма приведены на рисунке 2. В ходе математического эксперимента оценивались информационные потери a и агрегированность (сжатость) информации. Агрегированность информации оценивалась двумя показателями - вероятностью (или частотой) правильного агрегирования $P_{пр}$ и коэффициентом сжатия информации $K_{сж}$.

Результаты оценки разработанного алгоритма показывают, что:

- алгоритм обладает высокой устойчивостью к влиянию ошибок оценки координат объектов и наличию ложной информации. Качество его функционирования снижается когда ошибки становятся соизмеримыми с расстояниями между группами объектов. Ложная информация при обработке не возникает из-за формирования непересекающихся групп, а возникшая до агрегирования не участвует в формировании траекторий движения объектов, а влияет только на обобщенные характеристики агрегированных объектов не расходуя вычислительные ресурсы;
- алгоритм обеспечивает достаточно высокую вероятность правильного агрегирования и сжатие информации в количество раз соответствующее соотношению числа неагрегированных и агрегированных объектов.

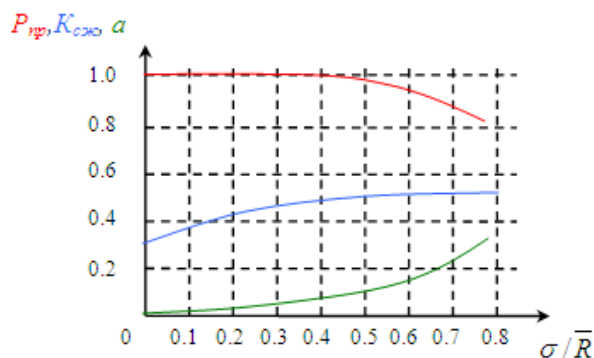


Рис. 8: Результаты оценки усеченного алгоритма (σ/\bar{R} - отношение СКО к среднему расстоянию между группами объектов)

Таким образом, разработанный алгоритм обеспечивает существенное снижение потерь информации и повышает информационные возможности системы в условиях перегрузки в несколько раз.

Заключение. Рассмотренный подход и, разработанный метод позволяют обеспечить агрегирование данных о высокодинамичных групповых объектах в информационной системе с ограниченными ресурсами. Разработанный на основе предложенного метода усеченный алгоритм агрегирования обеспечивает достаточное качество агрегирования в широком диапазоне изменения ошибок оценки координат высокодинамичных объектов и повышает возможности системы в условиях информационной перегрузки в несколько раз.

Список литературы

- [1] Семенов С.А., Новоселов П.В., Бреслер И.Б. Методический подход к оценке эффективности автоматизированной системы, создаваемой на основе разнородных компонентов” - М.: “Радиотехника”, Журнал в журнале “Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы”, № 5, 2005 г.
- [2] Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981.
- [3] Остапенко С.М. и др. “Методы технико-экономического обоснования ЗУР”. Научно-методическое пособие. – М.:, Воениздат, 2001 г.
- [4] Турбович И. Т. Об оптимальном методе опознавания образов при взаимнокоррелированных признаках. В сб. “Опознавание образов” - М.: Наука, 1965.
- [5] Семенов С.А., Новоселов П.В., Пильщиков Д.Е. “Метод формирования траекторий групп воздушных объектов” М.: “Радиотехника”, Журнал в журнале “Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы”, № 5, 2005 г.