

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Е.Е. Малафеев

(представил д.т.н. И.В. Чумаченко)

Предложен подход к оценке эффективности региональных систем интегрального информационного обслуживания на основании предложенных автором критериев. Учтена специфика функциональной предназначенности региональных систем информационного обслуживания (РСИО). Предложенный подход может стать основой инженерной методики.

Введение. Успех оптимизации сложных информационных систем зависит от совершенства используемого математического аппарата и адекватности моделирования процесса функционирования. Однако, не имея критериев эффективности функционирования об этом нельзя судить.

В настоящее время отсутствует системная проработка вопроса выбора критерия оценки эффективности сетей информационного обслуживания. Это объясняется как новизной систем информационного обслуживания (СИО) как системного объекта, так и отставанием в комплексном решении проблемы оценки эффективности и для достаточно давно разрабатываемых и эксплуатируемых сетей. Имеются отдельные, часто нестыкуемые и противоречивые критерии, применяемые на различных этапах исследования и проектирования сетей и их элементов и удобные для решения узких локальных задач, но практически непригодные для решения задач оценки эффективности СИО в целом, тем более такой, концепция которой разрабатывается автором настоящей работы. Напомним, что РСИО – это система, основанная на достижениях пространственного позиционирования объектов и ГИС технологий, персонализации информационного обмена с мобильными и стационарными абонентами сотовой радиосвязью и компьютерных технологий обмена и хранения информации. Это открывает перспективы расширить персонализированные информационные услуги принципиально неограниченной номенклатуры, принципиально неограниченному числу пользователей в стационарном или мобильном состоянии. Структуризация по регионам позволяет наращивать систему до административных территорий и государств. Поэтому прежде, чем приступить к разработке критерия оценки эффективности СИО, коротко остановимся на системном подходе к ре-

шению этой важной проблемы, освещенной в [2, 3, 5].

Анализ литературы. В [1, 3] предлагается путь выбора критериев, который назовем стратифицированным критерием, связавшим различные уровни абстрагирования, а именно: функциональный и физический. Концептуальной основой выбора стратифицированного критерия является принципиальный отказ от привлечения каких-либо внешних средств решения этой проблемы. Обычно неполнота исходной постановки проблемы эффективности страдает неполнотой, вытекающей из стремления к упрощению еще четко не сформулированной задачи и к использованию привычных описательных категорий. Нашей целью является выбор стратифицированного критерия с использованием морфологического, функционального и информационного описания и построение модели оценки эффективности, включающей собственно СИО, и ее пользователей как объектов, так и поставщиков услуг. Причем физический критерий необходимо выбрать так, чтобы он нес и функциональную нагрузку, т. е. учитывал вклад системы в деятельность всего комплекса (СИО + пользователи и поставщики услуг). В таком стратифицированном критерии может быть разрешено коренное противоречие между функциональными и физическими критериями.

В качестве исходного материала для выбора элементов стратифицированного критерия оценки эффективности РСИО следует рассмотреть критерии (функциональные и физические), уже апробированные и используемые для оценки эффективности различных сетей (ИВС, СПД и т.п.) [1, 5], а также критерии оценки эффективности процессов именно в СИО, предложенные в работах [4, 5].

Очевидно, что успех при построении такого стратифицированного критерия зависит от степени привязки к тем реальным процессам, которые имеют место в РСИО. Поэтому параллельно с разработкой критериев различных уровней необходимо проводить выделение соответствующих взаимосвязанных процессов (подпроцессов) в едином процессе доставки информации в РСИО.

Итак, **цель статьи** – предложить и обосновать критерии для оценки эффективности региональных систем интегрального информационного обслуживания.

Для достижения единства связи функциональной направленности критерия (с точки зрения реализуемости на базе эталонной модели взаимодействия открытых систем – ЭМВОС) целесообразно встречное движение: при разработке критерия «сверху-вниз», т.е. от пользователей системы, которыми являются потребители и поставщики услуг информационной системы к инструментальной среде, а при выделении подпроцессов – «снизу-вверх», т.е. в обратном направлении. Таким образом,

такой стратифицированный подход базируется на принципе системности и использует применительно к РСИО опыт предшествующих разработок.

Двигаясь «снизу-вверх» (от уровня 1 до уровня 4 ЭМВОС, т. е. в транспортной системе СИО), можно выделить процессы коммутации, маршрутизации и ограничения потоков коммутируемых информационных единиц – КИЕд (сообщений, потоков, и т. п.). При этом процесс обмена информацией определяется как процесс обмена КИЕд с решением задач маршрутизации и ограничения потоков. И, наконец, процесс доставки информации пользователям транспортной системы СИО, т. е. доставки СПИн (сообщение пользователя информационное), является обобщающим для всех перечисленных процессов. Тогда, следуя стратифицированному подходу, можно построить следующую цепочку критериев: функция ценности информации (для процесса доставки СПИн) – функция производительности сети (для процесса обмена информацией) – вероятностно-временные характеристики (для процессов коммутации, маршрутизации и ограничения потоков КИЕд).

Основное назначение РСИО – обеспечение потребностей пользователей в услугах (сервисе) по доставке в нужное время необходимой информации – в виде данных, файлов, факсов, аудио и видео.

С точки зрения конкретного пользователя наиболее важным является качество обслуживания запросов именно этого пользователя, в то время как для любого типа информации существуют некоторые граничные значения показателей качества, улучшение которых не ведет к улучшению субъективных оценок пользователя. Под качественным обслуживанием запроса понимается не смысловое его значение, а точность информации. В [4] показано, что при доставке речи в цифровой форме задержки активностей, меньшие 200 мс, не замечаются пользователем, а при диалоговом трафике обычно нет необходимости уменьшать возможную задержку СПИн менее 1 с.

Под производительностью РСИО R_N будем понимать количество информации пользователей, содержащейся во всех КИЕд, обслуженных сетью полностью и с заданным качеством за единичный интервал времени ее функционирования. КИЕд считается обслуженной полностью и с заданным качеством в следующих случаях: 1) в режиме коммутационный канал – КК и выделенный канал – ВК установлено соединение, обеспечивающее передачу всей необходимой пользователям информации с заданным качеством; 2) в режиме коммутации сообщений – КС или ДГ сообщение (датаграмма) передано УК-источником и принято УК-получателем за определенный интервал времени и с заданным качеством (УК – узел коммутации).

При заданной интенсивности входящего в РСИО потока КИЕд производительность сети по каждому виду информации, передаваемой с определенным приоритетом в каждом реализованном режиме коммутации, является функцией интенсивности этого входного потока $R_N = f(J_\Sigma)$, где J_Σ – сумма элементов соответствующей матрицы тяготения [4]. Поэтому в качестве меры производительности целесообразно использовать величину, равную относительному числу КИЕд, обслуженных сетью полностью и с заданным качеством за единичный интервал времени

$$R_{NO}(J_\Sigma) = R_N(J_\Sigma)/J_\Sigma.$$

Если пренебречь повторными поступлениями КИЕд в РСИО, вызванными потерями заявок в сети, либо доставкой СПИн пользователю с качеством ниже заданного уровня и нарушающими пуассоновский характер входного потока, то

$$R_N = J_\Sigma (1 - P_{но}(J_\Sigma)), \quad (1)$$

где $P_{но}$ – вероятность необслуживания КИЕд, под которой будем понимать вероятность недоставки, неполной доставки (например, в результате прерывания соединения), либо доставки с качеством ниже заданного информации пользователя, содержащейся в ней. Пренебрежение повторными поступлениями КИЕд допустимо, так как оно выполняется в тех случаях, когда $P_{яо} \ll 1$, а такой режим является основным режимом работы СИО в отсутствие перегрузок заявками.

Обозначим: $P_{бк}$ – вероятность блокировки КИЕд, под которой будем понимать вероятность недоставки информации пользователя, содержащейся в этой КИЕд; $Pr \{q_i \in (q_i^{\min}, q_i^{\max})\}$ – вероятность передачи КИЕд с нахождением i -го показателя качества в заданных пределах, где q_i^{\min} , q_i^{\max} – минимальное и максимальное допустимые значения для показателя q_i . Если пренебречь зависимостью вероятности блокировки и вероятностей передачи с заданным качеством для всех показателей q_i , $i = \overline{1, m}$ и считать, что в СИО достигается высокое качество обслуживания КИЕд, т. е. $Pr \{q_i \in (q_i^{\min}, q_i^{\max})\} \rightarrow 1$, то выражение (1) преобразуется к виду

$$R_N = J_\Sigma (1 - P_{бк}(J_\Sigma)).$$

Удобство перехода от величины $P_{но}$ к $P_{бк}$ заключается в том, что она может быть достаточно легко оценена как при аналитических расчетах в процессе проектирования СИО, так и при реализации алгоритмов управления в УК. Кроме того, $P_{бк}$ в отличие от R_N , относится не только к СИО в целом, но и привязано к каждой конкретной КИЕд. Следовательно, при минимизации $P_{бк}$ для каждого из запросов пользователей будет достигаться максимальная производительность СИО R_N [4, 5].

Рассмотрим более подробно вероятностно-временные характеристики процессов в СИО.

Средним временем задержки всего СПИн в сети T_c будем считать среднее в пределах множества сообщений время от момента приема первого бита запроса от пользователя в УК кодировщика запросов до передачи последнего бита ответа из УК поставщика услуг пользователю. Показатель T_c необходимо рассматривать отдельно для каждого вида запроса, каждого приоритета и каждого реализованного в СИО режима коммутации. Поскольку T_c имеет стохастический характер, целесообразно рассматривать вероятность превышения величиной T_c некоторого заданного значения T_c^c , т.е. $\text{Pr} \{T_c > T_c^c\}$, либо верхняя граница интервала, в котором находится определенная часть задержек, например, заявок и ответов.

Можно использовать среднее по сети среднеквадратическое отклонение времени задержки СПИн для запроса на передачу информации определенного вида и приоритета при заданном режиме коммутации σ_c или среднюю дисперсию времени задержки $\overline{D_c}$. Величина σ_c или $\overline{D_c}$ – важный показатель качества обслуживания для таких видов СПИн, как речь и оперативная информация в реальном масштабе времени.

Под средним временем задержки только пакета СПИн в СИО $\overline{T_n}$ (для режимов ВК и ДГ) будем понимать среднее по всем пакетам время от момента передачи пакета УК кодировщиком запросов до момента его успешного приема УК-получателем (поставщиком услуг). С точки зрения реализации алгоритмов управления маршрутизацией и ограничением потоков этот показатель может оказаться более удобным для использования, чем $\overline{T_c}$, так как имеет четкую связь с длинами очередей пакетов по исходящим направлениям в УК и достаточно легко физически оценивается.

Под средним временем установления соединения τ_y (режимы ВК и КК) будем понимать среднее по всем устанавливаемым соединениям время от момента передачи запроса на соединение УК-источником до получения им подтверждения о том, что соединение установлено.

В ряде случаев может быть использована такая оценка, как верность передачи КИЕд, в качестве меры которой может быть принято среднее число ошибок в кодовой комбинации КИЕд или средняя вероятность искажения символа $\overline{P_e}$. Допустимые значения $\overline{P_e}$ изменяются в весьма широких пределах для различных видов информации (от 10^{-12} – 10^{-10} и менее для файлов и до 10^{-2} – 10^{-1} для речи и изображений) [1].

Показатель производительности сети в конечном счете определяет ее экономическую эффективность.

Чтобы проводить выбор оптимальных методов и алгоритмов адап-

тивного управления обменом информацией в РСИО, необходимо иметь, критерий, чувствительный к вариациям методов и алгоритмов. Для того, чтобы в такой сложной системе, как РСИО, уметь отличать влияние одних методов и алгоритмов от других, целесообразно иметь некоторый опорный вариант эталонной сети РСИОэ.

При этом можно рассмотреть два показателя оценки эффективности методов и алгоритмов адаптивного управления обменом информацией в РСИО: относительное превышение среднего времени задержки КИЕд в реальной РСИОр, функционирующей при конкретном алгоритме адаптивного управления в реальных условиях, по сравнению с таким же показателем для РСИОэ, которое обозначим как ΔT , и относительное количество пользовательской информации, содержащейся в необслуженных КИЕд за определенный интервал времени ΔI . Величины ΔT и ΔI вычисляются по формулам:

$$\Delta T = \left(\overline{T_e} - \overline{T_e^*} \right) / \overline{T_e^*}; \quad \Delta I = (I_{\text{вх}} - I_o) / I_{\text{вх}}, \quad (2)$$

где $\overline{T_e^*}$ – среднее время задержки КИЕд в эталонной сети РСИОэ; $I_{\text{вх}}$ – количество пользовательской информации, содержащееся во всех КИЕд, входящих в СПИн, которые были или должны быть введены в РСИО за определенный интервал времени; I_o – количество пользовательской информации, содержащееся в тех КИЕд, которые были обслужены за тот же интервал времени. При этом необходимо отметить, что показатель ΔI для эталонной сети всегда равен 0.

Следовательно, с одной стороны, показатели ΔT и ΔI характеризуют ранее введенные показатели $\overline{T_e}$ и R_N соответственно, а с другой – они в достаточной степени отражают подход к решению задачи выбора методов и алгоритмов адаптивного управления в СИО с заданной структурой. Поэтому критерий оценки эффективности методов и алгоритмов адаптивного управления должен содержать в себе эти два показателя. Необходимо подчеркнуть следующую особенность подобного критерия, а следовательно, и подхода к решению задачи управления в РСИО. Показатель ΔT является глобальной характеристикой алгоритма адаптивного управления, поскольку он дает оценку качества процесса передачи через реальную сеть в целом при использовании данного алгоритма управления. Показатель ΔI характеризует способность сети, осуществляющей обмен информацией при управлении по некоторому алгоритму, принять определенную нагрузку. Эта способность зависит от специфики алгоритма управления, который реализуется в каждом УК, т. е. показатель ΔI является локальной характеристикой алгоритма адаптивного управления. Наличие одновременно показателей ΔT и ΔI

в критерии оценки эффективности алгоритмов адаптивного управления отражает то требование к этим алгоритмам, что в процессе управления обменом информацией в РСИО стохастические изменения условий функционирования реальной сети РСИО_р по сравнению с такими же условиями эталонной сети РСИО_э должны компенсироваться двумя путями, а именно глобально (на основе ΔT) и локально (на основе ΔI).

Говоря о выборе конкретной формы критерия оценки эффективности необходимо учесть, что специфика решения задачи адаптивного управления в СИО состоит в том, что, во-первых, критерий оценки эффективности алгоритмов адаптивного управления должен включать в себя два показателя, а именно ΔT и ΔI , а во-вторых, в зависимости от вида трафика в сети (диалоговый, файловый, речевой, смешанный), возможно определить степень важности каждого из этих двух показателей. В этих условиях можно применять комбинированный подход к решению задачи оптимизации. При условии, что трафик в сети оперативный (диалоговый, речевой), критерием оценки эффективности алгоритмов адаптивного управления становится правило: минимизировать ΔT при ограничении на ΔI . Если в сети передаются в основном длинные файлы, таким критерием является правило: минимизировать ΔI при ограничении на ΔT . В обоих случаях ставятся ограничения на управляемые параметры. Так как РСИО предназначена для передачи смешанного трафика, эффективность алгоритмов адаптивного управления оценивается по интегральному критерию вида

$$C_{\Gamma} = f(\Delta T, \Delta I). \quad (3)$$

При этом компромиссный вариант алгоритма адаптивного управления можно выбрать, используя схему справедливого компромисса. Для построения интегрального критерия целесообразно использовать принцип относительной уступки, потому что этот принцип чувствителен к величине отдельных показателей. Важным преимуществом принципа относительной уступки является то, что он инвариантен к масштабу измерения отдельных показателей. В работе [1] показано, что реализация этого принципа приводит к построению мультипликативного интегрального критерия. Учитывая это обстоятельство, а также формулу (2), выражение (3) можно записать в следующем виде:

$$C_{\Gamma} = \left(\frac{\overline{T_e} - T_e^*}{T_e^*} \right)^{q_1} \cdot \left(\frac{I_{\text{ВХ}} - I_0}{I_{\text{ВХ}}} \right)^{q_2}, \quad (4)$$

где q_1 и q_2 – весовые коэффициенты, определяющие приоритет отдельных показателей.

Выводы и перспективы исследований. Задача векторной оптимиза-

ции при первых двух постановках, т.е. в случаях диалогового и файлового трафиков, допускает применение точных методов решения. При этом появляется необходимость определения подмножества алгоритмов управления, близких к оптимальному, среди которых отыскивается оптимальный алгоритм. Выбор подобных алгоритмов можно проводить с использованием предложенного интегрального критерия оценки эффективности.

Учитывая физический смысл (4), интегральный критерий можно называть степенью ухудшения качества процесса обмена информацией в СИО, функционирующей в реальных условиях при данном алгоритме адаптивного управления, по сравнению с качеством такого же процесса в эталонной сети СИОэ. Поэтому в дальнейшем выбор алгоритма адаптивного управления по такому критерию должен производиться при условии $C_T \rightarrow \min$.

С учетом обоснованности подхода к разработке алгоритмов адаптивного управления можно утверждать, что всегда $\Delta T \geq 0$ и $\Delta I \geq 0$, т.е. $C_T \geq 0$. Использование алгоритмов адаптивного управления целесообразно в условиях, которые приводят к $\Delta T > 0$ и $\Delta I > 0$, однако при этом специфика некоторых алгоритмов такова, что $\Delta T \rightarrow 0$ при $\Delta I \rightarrow 0$. В подобном случае $C_T \rightarrow 0$, т.е. критерий становится нечувствительным к применению такого рода алгоритмов. Эту ситуацию можно избежать наложением определенных условий на выбор показателей степени q_1 и q_2 . Необходимым условием определения q_1 и q_2 , согласно [1], является равенство $q_1 + q_2 = 1$. Формальные методы определения значений q_1 и q_2 не разработаны. Конкретные значения показателей степени q_1 и q_2 зависят от значимости ΔT и ΔI соответственно, т.е. чем важнее ΔT или ΔI , тем больше должно быть значение q_1 и q_2 и наоборот. Таким образом, на основе применения стратифицированного подхода получим иерархию критериев оценки эффективности реализации в РСИО различных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. – Л.: Машиностроение, 1980. – 350 с.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
3. Месарович М., Токаhora Я. Общая теория систем. – М.: Мир, 1988. – 312 с.
4. Кучук Г.А. Оптимізація розподілу фрагментів даних інформаційних систем // Системи обробки інформації. – Х. : НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2002. – Вип. 2(18). – С. 272-274.
5. Колмыков А.В. Модель управления в системе предоставления и обеспечения сотовых услуг // Информационно-управляющие системы на ж/д транспорте. – 1987. – № 1. – С. 13 – 18.

Поступила 17.02.2003

МАЛАФЕЕВ Евгений Евгеньевич, заместитель директора АТ НИИРВ. Область научных интересов – географические информационные системы.