ISSN: 3030-3346

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА КОНФИГУРАЦИИ RFID-СИСТЕМЫ БИБЛИОТЕКИ ПРИ НЕПОЛНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Мухаммаджонов Шерзод Мухаммаджон угли

Докторант кафедры «Информационная наука и инженерия знаний»
Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми
e-mail: sh.muxammadjonov@tuit.uz; ORCID: 0000-0002-1798-0370

K E Y W O R D S

RFID-система, библиотека, конфигурирование, трёхзначная логика, пропускная способность, Парето-эффективность, совокупная стоимость владения

A B S T R A C T

Рассмотрена задача выбора конфигурации RFID-системы для автоматизации выдачи, возврата, самообслуживания, противокражного контроля и инвентаризации в библиотеке. Сложившаяся практика опирается на балльные оценки и анкеты поставщиков, в которых число устройств библиотека задаёт заранее, а совместимость с автоматизированной библиотечно-информационной системой (АБИС) устанавливается по названию системы. Предложена система моделей, связывающая профиль библиотеки, каталог компонентов и требования к процессам. Конфигурация описана целочисленными переменными с зависимостями И/ИЛИ между позициями каталога. Соответствие требованиям проверяется в трёхзначной логике с исходами «соответствует», «не соответствует», «недостаточно данных», что отделяет технически недопустимые варианты от вариантов с неподтверждёнными характеристиками. Число устройств выводится из пиковой нагрузки через переход от потока экземпляров к потоку сеансов обслуживания с учётом распределения размера партии и ёмкости цикла считывания. Допустимые варианты сравниваются по совокупной стоимости владения и другим критериям с помощью Парето-фильтрации и аддитивной модели ценности с фиксированными шкалами. Доказано, что принятые правила отсечения при поиске не исключают допустимых конфигураций. На модельных профилях школьного и вузовского информационно-ресурсных центров показано, что отождествление экземпляра с сеансом завышает число станций в 3–4 раза, а замена распределения партии её средним значением способна изменить решение вблизи порога загрузки. Модели предназначены для подготовки технического задания и экспертизы коммерческих предложений.

Введение

В библиотеках радиочастотная идентификация применяется при выдаче и возврате документов, самообслуживании, противокражном контроле и инвентаризации фонда [1; 2]. Ранние внедрения рассматривали её как средство защиты фонда и ускорения обращения документов [3]; позднее были систематизированы выгоды для обслуживания и вопросы управления проектами [4]. В академических библиотеках изучались стратегический эффект RFID [5] и решения по защите персональных данных читателей [6]. Измерения при инвентаризации ручным считывателем показали зависимость доли считанных меток от типа метки и свойств книги [7].

Технический облик библиотечной RFID-системы задают стандарты. Метки HF-диапазона (13,56 МГц) работают по протоколу ISO/IEC 15693 [8], модель данных метки определяет серия ISO 28560 [9; 10], обмен с АБИС обычно выполняется по протоколу SIP2 [11]. Рекомендации NISO RP-6-2012 сводят эти требования для библиотек США [12]. Состав оборудования и число устройств конкретной библиотеки из стандартов не выводятся.

Выбор технологии и поставщика в опубликованных работах решается методами многокритериальной оценки. В City University

(cc) BY

of Hong Kong HF- и UHF-решения сравнивались по взвешенной сумме оценок по шкале 1–5 [13]. Для выбора поставщика RFID-решений применялись нечёткие варианты МАИ и TOPSIS с имитационным моделированием методом Монте-Карло [14], а также интегрированная нечёткая многокритериальная модель [15]. Объектом сравнения в этих работах служит технология или поставщик в целом; состав комплекта и количество устройств принимаются заданными. Анкеты поставщиков, по которым готовятся коммерческие предложения, запрашивают у библиотеки число станций, считывателей и противокражных ворот. Совместимость с АБИС в таких анкетах устанавливается по названию системы, без проверки протокола обмена и его версии.

В Республике Узбекистан разработаны модели и алгоритмы создания интегрированных информационно-библиотечных систем [16]. Состав RFID-оборудования для такой среды обосновывается для каждого учреждения отдельно: он зависит от объёма фонда, потоков выдачи и возврата, числа входов, используемой АБИС и бюджета.

Формальный аппарат для подобных задач развит в теории конфигурирования на основе знаний. Конфигурацией называют выбор и соединение компонентов из заранее заданного каталога при ограничениях на их совместимость [17–19]. Проверка ограничений выполняется методами удовлетворения ограничений [20], объяснение противоречий — методами диагностики и поиска минимальных конфликтных множеств [21–23]. Сравнение допустимых вариантов опирается на теорию многомерной ценности [24; 25]. В доступных публикациях по библиотечному RFID зависимости компонентов, неполнота сведений об оборудовании и нагрузка обслуживания в одной модели не рассматривались.

Цель работы — разработка моделей и алгоритмов выбора конфигурации RFID-системы, согласованной с требованиями информационно-библиотечных процессов, техническими ограничениями и ресурсами библиотеки при неполных исходных данных. Решаются задачи: формализация профиля библиотеки и конфигурации; проверка соответствия с явным представлением неполноты сведений; обоснование числа устройств по нагрузке; сравнительная оценка допустимых вариантов; поиск с доказуемо безопасными отсечениями и анализ устойчивости рекомендации. Исследование ограничено HF-диапазоном. Диапазон задаётся каталогом компонентов, поэтому переход к UHF-решениям выполняется заменой каталога без изменения моделей.

Материалы и методы

Модель профиля библиотеки и требований

Профиль библиотеки $\mathcal{L}$ описывает выбранный период и контур обслуживания: фонд, требования, нагрузки, имеющиеся технические средства и организационные условия. Для каждого параметра ξ хранится запись $\mathrm{rec}(\xi)$ с полями «значение, единица, период, источник, способ получения, статус». Статус принимает значения [С] — показатель источника, [Р] — профессиональная рекомендация, [Д] — допущение модели, [В] — вычисленная величина. Неизвестное число обозначается $\perp$ и нулём не заменяется.

Требования делятся на обязательные $\mathcal{R}_{\mathrm{hard}}$ и предпочтения $\mathcal{R}_{\mathrm{pref}}$, причём предпочтения не компенсируют нарушений обязательных требований. Множество операций $\mathcal{O}$ (выдача, возврат, самообслуживание, книговозврат, противокражный контроль, инвентаризация, поиск на стеллаже) разбивается на обязательные для профиля $\mathcal{O}_{\mathrm{req}}$, желательные $\mathcal{O}_{\mathrm{pref}}$ и не входящие в сценарий. Каждой операции o сопоставляется множество необходимых функций RFID-системы $\mathcal{F}_o \subseteq \mathcal{F}$. Тем самым связь «операция — требование — функция» превращается в проверяемое условие: операция обеспечена, если каждая её функция реализована хотя бы одной выбранной позицией каталога (рис. 1).

(cc) BY

ISSN: 3030-3346

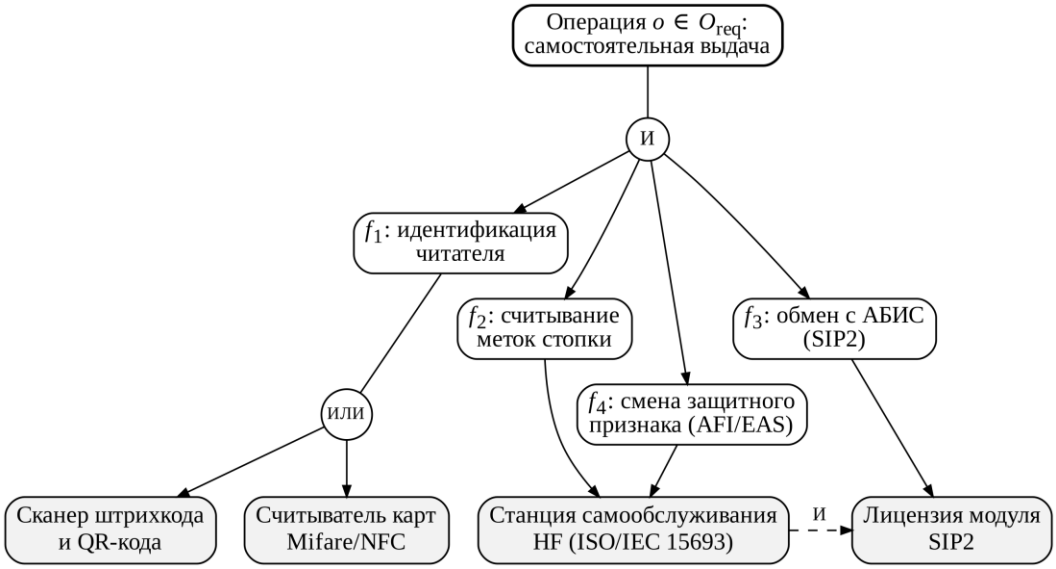


Рисунок 1 – Зависимости И/ИЛИ для операции самостоятельной выдачи

На рис. 1 функции операции соединены по И, способы реализации функции — по ИЛИ: идентификацию читателя обеспечивает считыватель карт Mifare/NFC или сканер штрихкода и QR-кода. Штриховая линия показывает зависимость станции от лицензии модуля SIP2.

Дискретная модель конфигурации

Каталог $\mathcal{J}$ содержит позиции поставки: оборудование, метки, лицензии программного обеспечения. Состав комплекта хранится явно. Величина $\beta_{\tau,j}$ задаёт число составляющих вида τ (антенн, лицензий, блоков питания) в единице позиции j и исключает повторное приобретение включённых частей. Для позиции j вводятся докупаемое количество x_j, повторно используемое количество u_j из имеющихся n_j^0 единиц и признак присутствия z_j:

$$n_j = x_j + u_j, \qquad 0 \le u_j \le n_j^0, \qquad 0 \le x_j \le x_j^{max}, \qquad z_j = 1 \Leftrightarrow n_j > 0 \tag{1}$$

где x_j^{max} — конечная верхняя граница приобретения, задаваемая до поиска. Зависимости между позициями записываются как ограничения И и ИЛИ:

$$z_j \le z_{j'}, \ \forall j' \in S_j^{\wedge}, \qquad z_j \le \sum_{j' \in S_j^{\vee}} z_{j'}, \tag{2}$$

где $S_j^{\wedge}$ — позиции, без которых j не работает; $S_j^{\vee}$ — взаимозаменяемые позиции, из которых требуется хотя бы одна. Число новых меток определяется долей α допустимого для маркировки фонда N_{elig} и числом уже маркированных экземпляров N_{tag}^0, совместимость меток которых подтверждена:

$$N_{mark} = \lceil \alpha N_{elig} \rceil, \quad N_{new} = max\big(0,\ N_{mark} - N_{tag}^0\big), \quad x_{tag} \ge N_{new} \tag{3}$$

где x_{tag} — докупаемое количество позиции меток; цифровые файлы и редкие издания в N_{elig} не входят. Противокражные ворота подбираются по каталожным схемам установки $m \in \mathcal{M}_d$ для каждого прохода d с проверкой геометрической пригодности схемы при ширине прохода ψ_d; выбор описывается двоичной переменной $\chi_{d,m}$, $\sum_m \chi_{d,m} = 1$. Все переменные имеют конечные целочисленные домены, поэтому область поиска $\mathcal{X}$ конечна.

Трёхзначная проверка соответствия

Результат проверки условия принимает значения из множества $\mathbb{V} = \{T, F, U\}$: T — соответствует, F — не соответствует, U — недостаточно данных. Статус параметра описывает источник числа, U — исход конкретного условия. На $\mathbb{V}$ вводится порядок F < U < T. Обеспеченность операции o функциями вычисляется как

(cc) BY dtai.uz

$$cov_o(\boldsymbol{x}) = \min_{f \in \mathcal{F}_o} \max_{j:\, z_j = 1,\, f \in \mathcal{F}_j} s_{j,f} \qquad (4)$$

где $s_{j,f} \in \mathbb{V}$ — подтверждённость функции f у позиции j (T — подтверждена документацией или испытанием, U — заявлена без подтверждения); максимум по пустому множеству равен F. Для $o \in \mathcal{O}_{\text{req}}$ условие $\text{cov}_o(\mathbf{x}) = T$ входит в $\mathcal{R}_{\text{hard}}$. Совместимость пар позиций $\kappa_{j,j'}$ и соответствие позиции интерфейсам профиля $\kappa_j(\mathcal{L})$ также принимают значения из $\mathbb{V}$. Совпадение названия АБИС значения T не даёт: требуется подтверждение поддерживаемого протокола (SIP2 или NCIP) и его версии на стороне АБИС. Итоговый результат по обязательным условиям $h \in \mathcal{R}_{\text{hard}}$:

$$\sigma(\boldsymbol{x}) = \min_{h \in \mathcal{R}_{hard}} \sigma_h(\boldsymbol{x}) \qquad (5)$$

Выражение (5) совпадает с конъюнкцией сильной трёхзначной логики Клини [26]. Конфигурации разбиваются на попарно непересекающиеся множества $\mathcal{X}_T$, $\mathcal{X}_F$ и $\mathcal{X}_U$. Вариант из $\mathcal{X}_U$ в рекомендацию не входит; перечень его неподтверждённых условий $\mathcal{H}_U(\mathbf{x})$ переносится в техническое задание как список вопросов к поставщику.

Нагрузка обслуживания и число устройств

Отчётная статистика выражает поток в экземплярах, пропускная способность станции определяется числом сеансов. В исследовании разработана цепочка перехода между этими величинами. Базовая интенсивность экземплярных операций в расчётном окне

$$\lambda_e = \frac{k\,(L+R)}{D\,\Delta} \qquad (6)$$

где L, R — выдачи и возвраты физических экземпляров за период; D — число рабочих дней периода; k — доля дневного потока, приходящаяся на расчётное окно длительностью Δ ч, $\Delta/H \le k \le 1$; H — продолжительность рабочего дня, ч. При отношении возвратов к выдачам $a = R/L$ поток делится на операции: $\lambda_{e,o} = \lambda_e/(1+a)$ для выдачи и $a\lambda_e/(1+a)$ для возврата. Сезонная добавка $\lambda_{e,o}^{add}$ задаётся отдельно и учитывается один раз. RFID-часть потока операции o, направляемая в канал обслуживания c, и соответствующий поток сеансов:

$$\lambda_{e,o,c}^{RFID} = \pi_{o,c}\left[\varphi_o\left(\lambda_{e,o} - \lambda_{e,o}^{add}\right) + \varphi_o^{add}\lambda_{e,o}^{add}\right], \quad \lambda_{s,o,c} = \frac{\lambda_{e,o,c}^{RFID}}{\bar{b}_{o,c}} \qquad (7)$$

где φ_o, φ_o^{add} — доли операций с маркированными экземплярами в базовом и дополнительном потоке; $\pi_{o,c}$ — доля RFID-потока в канале c (станция сотрудника, самообслуживание, книговозврат), $\sum_c \pi_{o,c} = 1$; $\bar{b}_{o,c} = \sum_b b\ p_{o,c}(b)$ — средний размер партии; $p_{o,c}(b)$ — распределение числа экземпляров в сеансе. Доля φ_o превышает долю маркированного фонда α, если первыми метятся наиболее востребованные экземпляры. Применение k к сеансам принимается как допущение [Д].

Продолжительность сеанса зависит от ёмкости одного цикла считывания $b_{max,g}$ устройства группы g. Партия сверх $b_{max,g}$ обрабатывается за несколько циклов при одной авторизации читателя:

$$t_{o,c,g}(b) = t_{o,c,g}^{s} + t_{o,c,g}^{e}\, b + \delta_{o,c,g}\left(\lceil b/b_{max,g} \rceil - 1\right), \qquad \bar{t}_{o,c,g} = \sum_{b=1}^{\hat{b}_{o,c}} p_{o,c}(b)\, t_{o,c,g}(b) \qquad (8)$$

где t^s — постоянная часть сеанса (идентификация читателя, обмен с АБИС), с; t^e — время обработки экземпляра, с; δ — накладное время дополнительного цикла, с; $\hat{b}_{o,c}$ — верхняя граница партии. Округление вверх нелинейно, поэтому $\bar{t}$ вычисляется по распределению p(b), и подстановка $\lceil \bar{b}/b_{max} \rceil$ даёт другой результат. Ёмкость цикла определяется антиколлизионным протоколом и геометрией стопки [27]; без подтверждённых испытаний она равна ⊥, и условие мощности даёт исход U.

Требуемое время работы группы устройств g в расчётном окне и минимальное число параллельных устройств:

$$W_g = \sum_{o \in \mathcal{O}_{cir}} \sum_{c \in \mathcal{C}_g} \lambda_{s,o,c}\ \bar{t}_{o,c,g} + W_g^{other}, \quad n_{min,g} = \left\lceil \frac{W_g}{3600\,\rho_{max,g}} \right\rceil \qquad (9)$$

(cc) BY

где $\mathcal{O}_{\text{cir}}$ — операции выдачи и возврата; $\mathcal{C}_{\text{g}}$ — каналы, обслуживаемые группой; $\text{W}_{\text{g}}^{\text{other}}$ — прочая нагрузка группы, например операции со штрихкодированными экземплярами, с/ч; $\rho_{\text{max,g}} \in (0; 1)$ — допустимая загрузка. Для станций сотрудника проверяется также $\sum_{\text{g}} \text{e}_{\text{g}}\, \text{n}_{\text{g}} \le \text{S}_{\text{srv}}$, где e_{g} — операторов на устройство, S_{srv} — операторы, доступные в окне. Время ожидания в очереди модель не оценивает.

Число инвентаризационных устройств определяется сроком проверки маркированной части фонда:

$$T_{inv} = \frac{N_{mark}}{\sum_{g \in \mathcal{G}_{inv}} \mu_{inv,g}\, \nu_g} \le H_{inv}\, D_{inv}^{max} \qquad (10)$$

где $\mu_{\text{inv,g}}$ — эффективная производительность устройства с учётом перемещений и повторных проходов, экз./ч; ν_{g} — одновременно используемые устройства, не больше числа исполнителей; H_{inv} — доступное время в день, ч; $\text{D}_{\text{inv}}^{\text{max}}$ — установленный срок, раб. дней.

Затраты и многокритериальная оценка

Совокупные затраты на горизонте Y лет в базовом режиме считаются в постоянных ценах без дисконтирования:

$$TCO(\boldsymbol{x}) = \sum_{j \in \mathcal{J}} P_j\; x_j + C_{setup}(\boldsymbol{x}) + \sum_{y=1}^{Y} C_y\,(\boldsymbol{x}) \qquad (11)$$

где P_{j} — цена единицы позиции; C_{setup} — работы, не включённые в цену поставки (интеграция с АБИС, настройка, маркировка фонда); C_{y} — повторяющиеся затраты года y (лицензии, обслуживание, восполнение меток). Стоимость повторно используемых средств не начисляется, составляющие из $\beta_{\tau,\text{j}}$ повторно не приобретаются; при $\text{P}_{\text{j}} = \perp$ значение TCO не определено.

Критерии f_{ℓ}, $\ell \in \mathcal{K}$ — TCO, функциональный запас по желательным операциям $\mathcal{O}_{\text{pref}}$, запас мощности, срок инвентаризации и др. — нормируются по фиксированным опорным уровням $\text{f}_{\ell}^{-} < \text{f}_{\ell}^{+}$, заданным до расчёта:

$$\eta_\ell(\boldsymbol{x}) = \frac{f_\ell(\boldsymbol{x}) - f_\ell^-}{f_\ell^+ - f_\ell^-} \;\; (\varepsilon_\ell = +1), \qquad \eta_\ell(\boldsymbol{x}) = \frac{f_\ell^+ - f_\ell(\boldsymbol{x})}{f_\ell^+ - f_\ell^-} \;\; (\varepsilon_\ell = -1) \qquad (12)$$

где ε_{ℓ} — направление предпочтения (+1 — предпочтительно большее значение, −1 — меньшее). Опорные уровни не вычисляются из минимума и максимума текущих альтернатив. Поэтому добавление нового варианта не меняет оценок остальных, а обращение рангов, вызванное нормированием по текущему набору альтернатив [28], исключается.

Вариант **x** доминирует по Парето вариант **y**, если $\eta_{\ell}(\mathbf{x}) \ge \eta_{\ell}(\mathbf{y})$ для всех ℓ и хотя бы одно неравенство строгое [29]. Недоминируемые варианты $\mathcal{X}_{\text{P}}$ ранжируются аддитивной ценностью

$$V_w(\boldsymbol{x}) = \sum_{\ell \in \mathcal{K}} w_\ell\; \eta_\ell(\boldsymbol{x}), \qquad w_\ell \ge 0, \quad \sum_{\ell \in \mathcal{K}} w_\ell = 1 \qquad (13)$$

где w_{ℓ} — веса, задаваемые лицом, принимающим решение, либо сценарно. Аддитивная форма корректна при взаимной независимости критериев по предпочтениям [24; 25], поэтому, например, цена приобретения и TCO одновременно в перечень не включаются.

Результаты

Из моделей (1)–(13) построена процедура из четырёх алгоритмов (рис. 2). Каждая полная конфигурация проверяется и попадает в одно из трёх множеств; сравнительная оценка выполняется только для $\mathcal{X}_{\text{T}}$.

(cc) BY

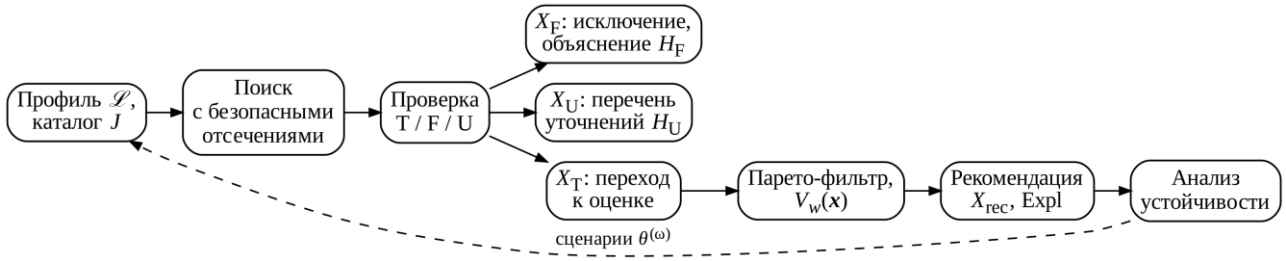


Рисунок 2 – Процедура выбора конфигурации RFID-системы

Алгоритм проверки

На вход подаются профиль $\mathcal{L}$, каталог и вектор $\mathbf{x}$. Сначала контролируются единицы, периоды и домены параметров; величины, относящиеся к разным периодам, не суммируются. Затем последовательно применяются ограничения (1)–(3), условия совместимости, обеспеченности операций (4), мощности (9), инвентаризации (10) и бюджета. Результат включает $\sigma(\mathbf{x})$, множества нарушенных $\mathcal{H}_{\mathrm{F}}(\mathbf{x})$ и неподтверждённых $\mathcal{H}_{\mathrm{U}}(\mathbf{x})$ условий и объяснение $\mathrm{Expl}(\mathbf{x})$: какая операция не обеспечена, какого компонента не хватает, какая характеристика не подтверждена. Сократить объяснение до минимального набора противоречивых требований позволяют алгоритмы QuickXPlain и FastDiag [22; 23], основанные на теории диагностики [21]. Время проверки линейно по числу условий и входящих в них позиций.

Алгоритм поиска с безопасными отсечениями

Переменные получают значения последовательно: сначала признаки присутствия z_j, затем количества x_j и u_j, распределение устройств по группам и выбор схем ворот. Нижняя граница числа устройств группы равна $n_{\min,g}$ из (9). Для частичного вектора $\mathbf{x}^{(i)}$ с множеством завершений $\mathrm{Ext}(\mathbf{x}^{(i)})$ вычисляется гарантированная оценка $\widehat{\sigma}_h(\mathbf{x}^{(i)})$: F, если условие h нарушается при каждом завершении; T, если выполняется при каждом; U в остальных случаях. Для ресурсов используется нижняя граница $\underline{A}_\zeta(\mathbf{x}^{(i)}) \le A_\zeta(\mathbf{y})$ для всех завершений $\mathbf{y}$; для бюджета её даёт стоимость уже назначенных позиций. Ветвь отсекается, если $\widehat{\sigma}_h = \mathrm{F}$ хотя бы для одного $h \in \mathcal{R}_{\mathrm{hard}}$ или $\underline{A}_\zeta > B_\zeta$ при известном пределе ресурса B_ζ. Оценка U основанием для отсечения не служит.

Утверждение 1. Отсечение по указанным правилам не исключает ни одной конфигурации из $\mathcal{X}_{\mathrm{T}} \cup \mathcal{X}_{\mathrm{U}}$.

Доказательство. Пусть ветвь отсечена по условию $\widehat{\sigma}_h(\mathbf{x}^{(i)}) = \mathrm{F}$. По определению гарантированной оценки для любого $\mathbf{y} \in \mathrm{Ext}(\mathbf{x}^{(i)})$ выполняется $\sigma_h(\mathbf{y}) = \mathrm{F}$, откуда по (5) $\sigma(\mathbf{y}) = \mathrm{F}$. Если ветвь отсечена по ресурсу, то $A_\zeta(\mathbf{y}) \ge \underline{A}_\zeta(\mathbf{x}^{(i)}) > B_\zeta$, обязательное ресурсное условие нарушено и снова $\sigma(\mathbf{y}) = \mathrm{F}$. Следовательно, $\mathrm{Ext}(\mathbf{x}^{(i)}) \subseteq \mathcal{X}_{\mathrm{F}}$. ■

Утверждение 2. Поиск завершается за конечное число шагов, и каждая конфигурация области $\mathcal{X}$ вне отсечённых ветвей проверяется. Это следует из конечности доменов $\mathcal{D}_i$: число полных векторов не превышает $N_{\mathrm{grid}} = \prod_{i=1}^{n_x} \mathrm{card}\,(\mathcal{D}_i)$, где n_x — число скалярных переменных. Отношение числа рассмотренных узлов к N_{grid} характеризует эффективность отсечений.

Алгоритмы сравнительной оценки и анализа устойчивости

Оценка выполняется для множества $\mathcal{X}_{\mathrm{eval}} \subseteq \mathcal{X}_{\mathrm{T}}$ с определёнными критериями; допустимые варианты с неизвестной ценой выводятся отдельным списком. Множество $\mathcal{X}_{\mathrm{P}}$ выделяется попарным сравнением за $O(|\mathcal{X}_{\mathrm{eval}}|^2 |\mathcal{K}|)$ операций, рекомендацией служит $\mathcal{X}_{\mathrm{rec}} = \underset{\mathbf{x}\in\mathcal{X}_{\mathrm{P}}}{\mathrm{argmax}} V_w(\mathbf{x})$ с объяснением через вклады $w_\ell \eta_\ell(\mathbf{x})$.

При анализе устойчивости параметры θ (нагрузка, времена сеанса, сроки, цены, веса) изменяются в области $\Theta \subseteq \prod_i [\theta_i^-, \theta_i^+]$ с

(cc) BY dtai.uz

сохранением физических ограничений и зависимостей производных величин. Для каждого сценария $\omega \in \Omega$ допустимость и выбор пересчитываются полностью: рост нагрузки переводит часть конфигураций из $\mathcal{X}_{\mathrm{T}}$ в $\mathcal{X}_{\mathrm{F}}$. Для базовой рекомендации $\mathbf{x}^0$ вычисляется доля сценариев, в которых она сохраняется:

$$keep(\boldsymbol{x}^0) = \frac{card(\Omega_{keep})}{card(\Omega)}, \qquad \Omega_{keep} = \left\{\omega \in \Omega\colon \boldsymbol{x}^0 \in \mathcal{X}_{rec}\left(\theta^{(\omega)}\right)\right\} \tag{14}$$

Величина (14) описывает набор сценариев и как вероятность выбора не интерпретируется. При случайной генерации весов, как в методах SMAA [30], фиксируются область, способ генерации и начальное состояние генератора. Параметры, изменение которых в допустимых пределах меняет рекомендацию, выводятся как первоочередные для уточнения.

Расчётный пример

Цепочка (6)–(9) проиллюстрирована на двух модельных профилях. В школьном информационно-ресурсном центре 4 000 учебников выдаются за пять дней комплектами по 10 экз. на станции сотрудника; при $\mathrm{k} = 0{,}30$ и $\Delta = 1$ ч расчётный час содержит 240 экз., $\varphi^{\mathrm{add}} = 1$. В профиле вузовского ИРЦ базовая интенсивность $\lambda_{\mathrm{e}} = 165{,}5$ экз./ч умножается на сезонный множитель 3. При $\mathrm{a} = 1$, $\varphi = 0{,}8$ и $\pi = 0{,}7$ на станции самообслуживания приходится 139,0 экз./ч выдачи. Распределение партии для $\mathrm{b} = 1, \ldots, 6$ задано вероятностями 0,30; 0,25; 0,20; 0,12; 0,08; 0,05, что даёт $\bar{\mathrm{b}} = 2{,}58$ и $\lambda_{\mathrm{s}} = 53{,}9$ сеанса/ч. Времена сеанса и допустимая загрузка — условные значения, подлежащие уточнению хронометражем: для школьного профиля $\mathrm{t}^{\mathrm{s}} = 40$ с, $\mathrm{t}^{\mathrm{e}} = 2$ с, $\delta = 8$ с, $\rho_{\max} = 0{,}8$; для вузовского $\mathrm{t}^{\mathrm{s}} = 38$ с, $\mathrm{t}^{\mathrm{e}} = 3$ с, $\delta = 6$ с, $\rho_{\max} = 0{,}7$. Для вузовского профиля они выбраны вблизи порога $\rho_{\max}$, где способ усреднения влияет на решение. В табл. 1 сопоставлены три способа расчёта: I — каждый экземпляр считается отдельным сеансом; II — сеансы учитываются по среднему размеру партии $\bar{\mathrm{b}}$ с подстановкой $\lceil \bar{\mathrm{b}}/\mathrm{b}_{\max} \rceil$; III — по распределению $\mathrm{p}(\mathrm{b})$ согласно (8).

Таблица 1

Потребность в станциях при разных способах учёта партии

Профиль	$\mathrm{b}_{\max}$	**Способ I:** W**, с/ч;** $\mathrm{n}_{\min}$	**Способ II:** W**, с/ч;** $\mathrm{n}_{\min}$	**Способ III:** W**, с/ч;** $\mathrm{n}_{\min}$
Школьный ИРЦ, выдача учебников	10	10 080; 4	1 440; 1	1 440; 1
Школьный ИРЦ, выдача учебников	6	10 080; 4	1 632; 1	1 632; 1
Вузовский ИРЦ, самообслуживание в сезон	6	5 700; 3	2 465; 1	2 465; 1
Вузовский ИРЦ, самообслуживание в сезон	3	5 700; 3	2 465; 1	2 545; 2

Из табл. 1 следует, что способ I завышает потребность в станциях в 4 раза для школьного профиля и в 3 раза для вузовского. Постоянная часть сеанса t^{s} при этом начисляется на каждый экземпляр. Способы II и III совпадают, пока партия не превышает ёмкости цикла или распределение вырождено, как у комплектов учебников. При $\mathrm{b}_{\max} = 3$ в вузовском профиле четверть сеансов (партии из 4–6 экз.) требует второго цикла. По среднему значению $\lceil 2{,}58/3 \rceil = 1$ этот эффект не виден, и загрузка оценивается в 0,978, тогда как по распределению она равна 1,010 и превышает единицу. Решение меняется с одной станции на две. Вне окрестности порога различие способов II и III составляет несколько процентов времени.

(cc) BY

Обсуждение

Сопоставление предложенных моделей с подходами, описанными во введении, приведено в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление подходов к выбору RFID-решения для библиотеки

Подход	Объект выбора	Зависимости	Число устройств	Неполнота данных	Объяснение
Балльная оценка [13]	Технология	Нет	Вне модели	Нет	Нет
Нечёткие модели [14; 15]	Поставщик	Нет	Вне модели	Нечёткие оценки; Монте-Карло [14]	Нет
Анкета поставщика	Предложение	Неявно	Задаёт библиотека	Нет	Нет
Предложенные модели	Конфигурация	И/ИЛИ (2)	Из нагрузки (6)–(10)	Статусы, исход U, сценарии	$\mathcal{H}_{\square}$, $\mathcal{H}_{\square}$, вклады

Как видно из табл. 2, существующие подходы сравнивают заранее сформированные альтернативы: технологию, поставщика или готовое предложение, причём количество устройств задаётся вне модели. В предложенных моделях альтернативы порождаются из каталога и проверяются на допустимость до сравнения, поэтому конфигурации, не обеспечивающие обязательных операций или несогласованные с АБИС, в сравнение не попадают.

Исход U важен для практики закупок. Заявленные поставщиком характеристики (скорость считывания стопки, поддержка протокола, ёмкость цикла) до подтверждения испытанием дают исход U, а перечень $\mathcal{H}_{\mathrm{U}}$ становится списком вопросов, требующих документального ответа. Результаты измерений при инвентаризации [7] показывают, что такие характеристики зависят от фонда конкретной библиотеки.

Ограничения моделей связаны с допущениями. Для гарантии заданного максимального ожидания условие (9) нужно дополнить моделью массового обслуживания. Перенос k на сеансы и однородность партий в пиковом окне должны проверяться по часовым выгрузкам АБИС. Результат зависит от полноты каталога и достоверности характеристик. Эффект внедрения в конкретной библиотеке расчётами не подтверждается и требует отдельного исследования.

Заключение

В работе получены следующие результаты.

1. Предложены модель профиля библиотеки со статусами происхождения параметров и связью «операция — требование — функция» и дискретная модель конфигурации с целочисленными количествами, имеющимся оборудованием, составом комплектов и зависимостями И/ИЛИ.
2. Введена трёхзначная проверка соответствия, отделяющая недопустимые конфигурации от конфигураций с неподтверждёнными характеристиками; для последних формируется перечень вопросов к поставщику.
3. Построена цепочка перехода от экземплярного потока отчётной статистики к потоку сеансов и необходимому числу устройств. На модельных профилях отождествление экземпляра и сеанса завысило число станций в 3–4 раза, а учёт

(cc) BY

распределения размера партии изменил решение вблизи порога загрузки.

4. Доказаны безопасность отсечений и конечность поиска. Сравнительная оценка выполняется Парето-фильтрацией и аддитивной моделью с фиксированными шкалами, устойчивость рекомендации — сценарным и интервальным анализом.

Дальнейшая работа включает программную реализацию моделей и вычислительный эксперимент на шести модельных профилях библиотек Республики Узбекистан.

Список литературы

1. Want R. An introduction to RFID technology // IEEE Pervasive Computing. – 2006. – Vol. 5, No. 1. – P. 25–33. – DOI: 10.1109/MPRV.2006.2.
2. Finkenzeller K. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication / transl. by D. Müller. – 3rd ed. – Chichester : John Wiley & Sons, 2010. – 478 p.
3. Kern C. Radio-frequency-identification for security and media circulation in libraries // The Electronic Library. – 2004. – Vol. 22, No. 4. – P. 317–324. – DOI: 10.1108/02640470410552947.
4. Yu S.-C. RFID implementation and benefits in libraries // The Electronic Library. – 2007. – Vol. 25, No. 1. – P. 54–64. – DOI: 10.1108/02640470710729119.
5. Chelliah J., Sood S., Scholfield S. Realising the strategic value of RFID in academic libraries: a case study of the University of Technology Sydney // Australian Library Journal. – 2015. – Vol. 64, No. 2. – P. 113–127. – DOI: 10.1080/00049670.2015.1013005.
6. Ferguson S., Thornley C., Gibb F. How do libraries manage the ethical and privacy issues of RFID implementation? A qualitative investigation into the decision-making processes of ten libraries // Journal of Librarianship and Information Science. – 2015. – Vol. 47, No. 2. – P. 117–130. – DOI: 10.1177/0961000613518572.
7. Abcouwer K., van Loon E. Library inventory using a RFID wand: contribution of tag and book specific factors on the read rate // Library Hi Tech. – 2021. – Vol. 39, No. 2. – P. 368–379. – DOI: 10.1108/LHT-06-2019-0129.
8. ISO/IEC 15693-3:2026. Cards and security devices for personal identification – Contactless vicinity objects – Part 3: Anticollision and transmission protocol. – Geneva : ISO, 2026. – 66 p.
9. ISO 28560-1:2023. Information and documentation – RFID in libraries – Part 1: Data elements and general guidelines for implementation. – Geneva : ISO, 2023. – 27 p.
10. ISO 28560-2:2023. Information and documentation – RFID in libraries – Part 2: Encoding of RFID data elements based on rules from ISO/IEC 15962. – Geneva : ISO, 2023. – 43 p.
11. 3M Standard Interchange Protocol Version 2.00 : document revision 2.10. – 3M, 1998.
12. NISO RP-6-2012. RFID in U.S. Libraries. – Baltimore : National Information Standards Organization, 2012. – vi, 71 p. – DOI: 10.3789/niso-rp-6-2012.
13. Ching S.H., Tai A. HF RFID versus UHF RFID – technology for library service transformation at City University of Hong Kong // The Journal of Academic Librarianship. – 2009. – Vol. 35, No. 4. – P. 347–359. – DOI: 10.1016/j.acalib.2009.04.005.
14. Sari K. Selection of RFID solution provider: a fuzzy multi-criteria decision model with Monte Carlo simulation // Kybernetes. – 2013. – Vol. 42, No. 3. – P. 448–465. – DOI: 10.1108/03684921311323680.
15. Büyüközkan G., Karabulut Y., Arsenyan J. RFID service provider selection: an integrated fuzzy MCDM approach // Measurement. – 2017. – Vol. 112. – P. 88–98. – DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.018.
16. Каримов У.У. Интеграллаштирилган ахборот-кутубхона тизимларини яратиш моделлари, усуллари ва алгоритмлари : дис. (05.01.09). – Ташкент : ТУИТ, 2020. – 123 с.
17. Mittal S., Frayman F. Towards a generic model of configuration tasks // Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence

(cc) BY

(IJCAI-89). Vol. 2. – San Mateo : Morgan Kaufmann, 1989. – P. 1395–1401.
18. Sabin D., Weigel R. Product configuration frameworks – a survey // IEEE Intelligent Systems. – 1998. – Vol. 13, No. 4. – P. 42–49. – DOI: 10.1109/5254.708432.
19. Felfernig A., Hotz L., Bagley C., Tiihonen J. Knowledge-based configuration: from research to business cases. – Waltham : Morgan Kaufmann, 2014. – 357 p. – DOI: 10.1016/C2011-0-69705-4.
20. Mackworth A.K. Consistency in networks of relations // Artificial Intelligence. – 1977. – Vol. 8, No. 1. – P. 99–118. – DOI: 10.1016/0004-3702(77)90007-8.
21. Reiter R. A theory of diagnosis from first principles // Artificial Intelligence. – 1987. – Vol. 32, No. 1. – P. 57–95. – DOI: 10.1016/0004-3702(87)90062-2.
22. Junker U. QuickXplain: preferred explanations and relaxations for over-constrained problems // Proceedings of the Nineteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-04). – AAAI Press, 2004. – P. 167–172.
23. Felfernig A., Schubert M., Zehentner C. An efficient diagnosis algorithm for inconsistent constraint sets // AI EDAM. – 2012. – Vol. 26, No. 1. – P. 53–62. – DOI: 10.1017/S0890060411000011.
24. Keeney R.L., Raiffa H. Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs. – Cambridge : Cambridge University Press, 1993. – 569 p. – DOI: 10.1017/CBO9781139174084.
25. Dyer J.S., Sarin R.K. Measurable multiattribute value functions // Operations Research. – 1979. – Vol. 27, No. 4. – P. 810–822. – DOI: 10.1287/opre.27.4.810.
26. Kleene S.C. On notation for ordinal numbers // The Journal of Symbolic Logic. – 1938. – Vol. 3, No. 4. – P. 150–155. – DOI: 10.2307/2267778.
27. Klair D.K., Chin K.-W., Raad R. A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2010. – Vol. 12, No. 3. – P. 400–421.
28. Wang Y.-M., Luo Y. On rank reversal in decision analysis // Mathematical and Computer Modelling. – 2009. – Vol. 49, No. 5–6. – P. 1221–1229. – DOI: 10.1016/j.mcm.2008.06.019.
29. Ehrgott M. Multicriteria optimization. – 2nd ed. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2005. – 323 p. – DOI: 10.1007/3-540-27659-9.
30. Lahdelma R., Hokkanen J., Salminen P. SMAA – stochastic multiobjective acceptability analysis // European Journal of Operational Research. – 1998. – Vol. 106, No. 1. – P. 137–143. – DOI: 10.1016/S0377-2217(97)00163-X.

(cc) BY