

УДК 004.056.5

МЕТОД АДАПТИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО КЛИЕНТА С ERP-СИСТЕМОЙ УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Почечуева С.М., студент гр. 4416, 4 курс

Научный руководитель: Сабитов Р.А. к.т.н., старший научный сотрудник,
доцент

¹ Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ
г. Казань

Рост конкуренции и ужесточение требований к оперативности управления производственными процессами, подчеркивают критическую важность задачи повышения прозрачности и достоверности предоставляемых данных о ходе выполнения технологических операций в режиме реального времени. Несмотря на широкое распространение корпоративных информационных систем на механизированных предприятиях, в производственных цехах все еще сохраняются традиционные методы фиксации результатов выполнения заданий рабочими. Процесс внесения данных о количестве годной и бракованной произведенной продукции часто осложнен необходимостью предварительного документирования в бумажных журналах или устного информирования начальника участка, что приводит к задержкам и искажению информации из-за человеческого фактора.

Мобильное приложение в связке с технологиями автоматической идентификации, интегрированное с используемой информационной системой, для работников, не обладающих глубокими знаниями функционала, позволяет цифровизировать этот процесс и сократить временной интервал обновления статусов. Для реализации интерфейсов взаимодействия рассматривается платформа «1С: Предприятие» и конфигурация класса ERP, поддерживающая функции пооперационного учета и диспетчеризации.

Однако реализация мобильной автоматизации, в условиях производственных участков, сталкивается с рядом инфраструктурных ограничений. Не редки случаи, когда в цехах наблюдаются перебои в работе беспроводной сети. В связи с этим критически важным требованием при реализации мобильного приложения, является наличие оффлайн режима для ситуаций попадания смартфонов в «радиотень» [1]. Работу в оффлайн режиме можно реализовать при помощи создания автономной конфигурации. Возможность создания мобильного клиента с автономным режимом появилась в платформе «1С: Предприятие» еще в версии 8.3.16.1030. Работая в конфигураторе, можно настроить состав автономного режима, включив необходимые объекты вплоть до их реквизитов.

Реализация же функционирования процесса обмена данными между мобильным устройством и серверной информационной базой ложится полностью на плечи разработчика, настраивающего автономный режим работы.

Существующие механизмы синхронизации данных преимущественно используют статические стратегии: периодическую передачу накопленных данных или мгновенной отправки при появлении соединения. Подобные решения не учитывают текущее качество канала связи. По этим причинам крайне необходимо разработать метод синхронизации данных мобильного клиента с ERP-системой, который позволит мобильному клиенту адаптивно реагировать на изменения в состоянии сетевой инфраструктуры.

Предлагается классифицировать три базовые стратегии копирования данных, переключение между которыми осуществляется динамически на каждом сеансе связи. Стратегию полной синхронизации следует применять в условиях стабильного сетевого соединения. Данный режим предполагает обмен полным набором исходных данных, что обеспечивает значительную простоту в управлении и гарантирует абсолютную идентичность данных локальной и серверной баз данных без риска рассинхронизации, однако инициирует повышенную нагрузку на канал связи. По данным причинам целесообразно использовать полную синхронизацию при первоначальной инициализации мобильного клиента или периодического обновления справочной информации, объем которых может быть значительным. По предлагаемому методу полная синхронизация запускается только тогда, когда метрики качества сигнала превышают пороговые значения в течение заявленного временного отрезка.

Следующая рассматриваемая стратегия инкрементная синхронизация. Инкрементный тип копирования предполагает сохранение на сервере только той части данных, которые изменились с последнего успешного сеанса связи. Режим является ключевым для обеспечения оперативности учета в условиях среднего качества канала связи и высокого приоритета событий. В рамках предметной области это означает передачу фактов начала и завершения выполнения технологических операций, а также данных о количестве произведенной продукции. Важна адаптация инкрементального режима по глубине синхронизации в зависимости от критической важности атрибутов. Это позволит обеспечить доставку наиболее необходимых событий для ERP-даже в условиях нестабильного соединения. Передача изменений относительно последнего резервного копирования, значительно снизит объем трафика и время занятия канала.

Отложенная же синхронизация применяется в ситуациях низкого качества канала связи, когда попытка передачи данных с высокой вероятностью приведет к ошибке соединения, либо при низком приоритете накапливаемых данных. В данном режиме мобильный клиент накапливает пакет данных в локальном хранилище устройства, и синхронизация откладывается до восстановления сетевого соединения. Приоритизация очередей отложенных данных гарантирует доставку критически важных производственных событий в первую очередь после улучшения сетевых условий, тем самым поддерживая целостность оперативного учета без непрерывного онлайн доступа.

Эффективность функционирования метода гибкой синхронизации напрямую зависит от точности и полноты оценки состояния системы, для чего алгоритм использует две ключевые категории данных: технические метрики сети и метрики значимости данных. Первая группа параметров оценивается мобильным

клиентом в режиме реального времени. Одной из таких технических метрик является уровень сигнала RSSI (Received Signal Strength Indicator). RSSI представляет собой количественную оценку сигнала, поступающего на антенны смартфона, и измеряется в децибел-милливаттах. Необходимость включения RSSI в список параметров алгоритма обусловлена прямой корреляцией между мощностью сигнала и вероятностью разрыва сетевого соединения. Как отмечалось в работе ранее, в инфраструктуре промышленных помещений присутствуют зоны нестабильного покрытия из-за наличия станочного оборудования и других экранирующих объектов. Для целей принятия решения о выборе стратегии синхронизации была установлена следующая дифференцированная шкала пороговых значений, определяющая состояние сетевого канала:

- Отличный уровень сигнала: выше -65 дБм;
- Хороший уровень сигнала: от -65 дБм до -75 дБм;
- Удовлетворительный уровень сигнала: -75 дБм до -85 дБм;
- Плохой уровень сигнала: от -85 дБм до -95 дБм.

Вторым важным техническим параметром является уровень потерь пакетов. Метрика характеризует процент пакетов, не дошедших до адресата в процессе передачи информации между мобильным клиентом и сервером ERP-системы. Даже при высоком уровне сигнала RSSI канал связи может быть сильно зашумлен. В таких условиях высокий процент потерь свидетельствует о ненадежности канала, что требует от алгоритма перехода на более устойчивые стратегии обмена. Значения параметра было принято классифицировать следующим образом:

- Отличное соединение: 0% потерь;
- Хорошее соединение: 1-2% потерь;
- Удовлетворительное соединение: до 10%;
- Плохое соединение: более 10%.

Также помимо показателей надежности канала, стоит учитывать третью ключевую метрику, а именно пропускную способность. Под пропускной способностью понимается фактическая скорость передачи данных в конкретный момент времени. Попытка передачи объемных элементов объектов метаданных при низкой скорости соединения может привести к длительным задержкам и блокировке мобильного интерфейса. В связи с этим при низких значениях приоритет отдается передаче только оперативных транзакций, а обновление справочной информации, инициируемой с сервера, откладывается до улучшения связи. Классификация значений показателей пропускной способности:

- Отличная пропускная способность: выше 5 Мбит/с;
- Хорошая пропускная способность: 1-5 Мбит/с;
- Удовлетворительная пропускная способность: 0,5-1 Мбит/с;
- Плохая пропускная способность: ниже 0,5 Мбит/с.

Поскольку все метрики имеют разные измерения, следует свести их к единой безразмерной шкале, для проведения дальнейших расчетов. Нормализация заключается в преобразовании значений от 0 до 1, где 1 соответствует идеальным условиям передачи, а 0 отсутствию связи. Нормализованное значение RSSI вычисляется таким образом, что уровню выше -65 дБм присваивается коэффициент

1,0, а уровню -95 дБм и ниже коэффициент 0,0, с линейной интерполяцией в промежуточной диапозоне.

Аналогичная процедура нормализации применяется к уровню потерь пакетов и пропускной способности канала. Для метрики потерь пакетов зависимость является обратной: нулевой процент потерь соответствует значению 1,0, тогда как критический уровень в 10% и выше оценивается в 0,0. Пропускная способность нормализуется относительно пороговых значений, необходимых для передачи типовых пакетов данных мобильного клиента: скорость выше 6 Мбит/с получает оценку 1,0, а значения ниже 0,5 Мбит/с оцениваются близко к нулю.

Стоит отметить, что техническая реализация механизма сбора входных данных по группе параметров, отвечающих за метрики состояния сети, производится на стороне мобильного клиента, поскольку серверная часть ERP-системы не обладает информацией о текущем состоянии радиоканала в конкретной точке цеха. Однако стандартные средства языка платформы не предоставляют прямого доступа к детальным метрикам, упомянутым ранее. Для решения этой задачи в рамках технической спецификации следует использовать механизм нативных расширений (Native API). Реализация подразумевает разработку программного модуля на языке Java или Kotlin для операционной системы Android, либо Swift или Objective-C для iOS, который впоследствии вызывается из кода 1С. Нативное расширение обращается к системным API устройства и возвращает полученное значение.

Вторую категорию входных данных параметров алгоритма составляют семантические метрики производственного контекста, которые характеризуют важность передаваемых данных с точки зрения бизнес-логики предприятия и функций ERP-системы. Не все события обладают равной критичностью для оперативного учета. Разделение событий по группам по уровню приоритета позволяет избежать ситуации, характерной для статических методов, когда критически важное сообщение остается в очереди передачи за объемным обновлением справочников.

К классу высокого приоритета отнесены события, требующие немедленной доставки в серверную часть ERP-системы даже при неудовлетворительном качестве сетевого соединения. В данную группу входит подтверждение выпуска готовой продукции, фиксация количества брака и статусы операций, указывающие на критическое отклонение от плана. Средний же приоритет разумно присваивать событиям, фиксирующим стандартный ход выполнения технологического процесса, подтверждение начала и окончания выполнения технологических операций исполнителем. Эти данные необходимы для формирования общей картины загрузки рабочих центров, однако допускают кратковременную задержку в передаче без существенного ущерба для производственного процесса. Низкий приоритет установлен для служебных данных, не влияющих непосредственно на текущее состояние производственного заказа. К данной категории разумно отнести обновление справочной информации из ERP-системы, например изменения элементов справочника, синхронизация логов интерфейса мобильного приложения и прочие фоновые процессы обмена метаданными. Передачу таких пакетов данных следует осуществлять исключительно при стабильном канале связи

высокого качества в режиме полной синхронизации. В локальной информационной базе мобильного приложения каждый объект данных, подлежащий синхронизации, маркируется при помощи атрибута «Приоритет синхронизации».

Стоит уточнить, что оценка параметров производится непосредственно перед попыткой инициирования сеанса синхронизации, поскольку непрерывный мониторинг сети в реальном времени приводит к повышению энергопотреблению и нагрузки на процессор мобильного устройства.

Для реализации логики метода вводится функция полезности синхронизации $U(S, P)$, где S - интегральный показатель качества сетевого соединения, а P - весовой коэффициент приоритета операции.

Состояние сети S формируется на основе значений технических метрик, которые подвержены высокочастотным колебаниям в условиях производственного цеха. Поэтому прямое использование текущих значений может привести к неустойчивости алгоритма, выражающегося в частом переключении между стратегиями. Для исключения данной ситуации применяется механизм прогнозирования качества соединения на основе метода скользящей средней. «Сглаженное» значение сети S_{SMA} вычисляется по формуле:

$$S_{SMA}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} S(t-i), \quad (1)$$

где t - текущий момент времени, n - количество последних замеров, $S(t-i)$ - значение интегрального показателя сети в момент времени $t-i$. n подбирается исходя из средней частоты опроса метрик.

Приоритет операций P дискретная переменная, принимающая значения из множества $\{P_{\text{низкий}}, P_{\text{средний}}, P_{\text{высокий}}\}$, соответствующих низкому, среднему и высокому приоритету событий соответственно. В функции полезности параметр выступает как множитель, повышающий значимость синхронизации даже при неудовлетворительном состоянии сети. Таким образом функция полезности синхронизации принимает следующий вид линейной комбинации:

$$U(S, P) = \omega_1 \times S_{SMA} + \omega_2 \times K(P), \quad (2)$$

где ω_1 и ω_2 - весовые коэффициенты, определяющие баланс между надежностью канала и важностью данных, $K(P)$ - коэффициент важности операции. Такая формализация компенсирует низкое качество канала связи высоким приоритетом данных: критическое производственное событие с высоким значением P , получит высокое значение U , даже при невеликом S_{SMA} , что инициирует попытку синхронизации в облегченном режиме без сильной нагрузки.

На основе вычисленного значения функции полезности U , алгоритм принимает решение о выборе одной из трех стратегий синхронизации путем сравнения с пороговыми значениями для каждой из стратегий. При $U \geq T_{\text{полная}}$ инициируется стратегия полной синхронизации. Если $T_{\text{инкр.}} \leq U < T_{\text{полная}}$ выбирается инкрементальная синхронизация, доставляющая изменения при умеренных рисках. Если же $U < T_{\text{инкр.}}$, применяется отложенная синхронизация, при которой данные накапливаются локально до улучшения условий связи.

Разработанный метод адаптивной синхронизации в полной мере обеспечивает целостность данных оперативного учета даже в условиях попадания мобильных устройств работников в «радиотень» цеха. Динамически формируемая стратегия обмена данными позволяет существенно снизить нагрузку на канал связи, а также гарантирует доставку особо важных производственных событий в первую очередь. Кроме того, внедренный алгоритм прогнозирования качества соединения предотвращает попытки передачи данных в тот самый момент, когда связь как раз обрывается или ненадежна. Далее планируется использовать методы машинного обучения для более точного предсказания состояния сети, а еще попробовать применить это в работе с цифровыми двойниками.

Список литературы:

1. Данькив, В. М. Системы управления производственными данными (MES): исследование роли MES в интеграции автоматизированных процессов и повышения эффективности // Актуальные вопросы научных исследований в условиях формирования многополярного мира: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Самара, 28 января 2025 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2025. – С. 27-32. – EDN DGVRYM.
2. Кальянов, А. Д. Разработка мобильных приложений на платформе "1С: Предприятие" / А. Д. Кальянов // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IX Международной научной конференции, Донецк, 15–17 октября 2024 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2024. – С. 180-182. – EDN SQPEAF.
3. Ковалев В.Е., Новикова К. В., Добровлянин В.Д. Внедрение ERP-систем малыми и средними компаниями в России: барьеры и перспективы // Управленец. Т. 14, № 6. С. 77-90. DOI: 10.29141/2218-5003-2023-14-6-6. EDN: EPLGEJ.
4. Загидуллин, Р. Р. Б. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP : Полная версия / Р. Р. Б. Загидуллин. – 2-е издание, стереотипное. – Старый Оскол : ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2020. – 416 с. – ISBN 978-5-94178-282-6. – EDN BUZAQL.
5. Фролов, А. С. Использование подключаемого оборудования на платформе "1С:Предприятие 8.3" / А. С. Фролов // Информационные технологии : Межвузовский сборник научных трудов / Рязань : Рязанский государственный радиотехнический университет, 2016. – С. 173-182. – EDN WZLYYD.