

УДК 004.021

В.Л. Капилевич, Д.М. Сонькин, А.О. Игумнов

## Комбинированный алгоритм для отображения навигационных данных в высоконагруженных web-ориентированных пассажирских информационных системах

Рассмотрены различные подходы к решению задачи оптимального отображения навигационных данных в высоконагруженных web-ориентированных пассажирских информационных системах. Предложен комбинированный алгоритм, учитывающий специфику пассажирских информационных систем. Предлагается использовать принцип push-нотификаций для доставки обновленных навигационных данных клиенту, учитывать текущую область видимости и уровень масштаба карты каждого пользователя, а также передавать положения транспортных средств в виде их относительного расположения на маршруте. Произведено сравнение описанных подходов по нескольким критериям.

**Ключевые слова:** навигационные данные, визуализация, пассажирская информационная система, высоконагруженные системы.

Задача спутникового мониторинга транспорта в целом и мониторинг городского пассажирского транспорта в частности в последние годы становится все более актуальной в России и за рубежом. Такой рост в первую очередь коснулся общественного пассажирского транспорта и дал новый толчок в развитии интеллектуальных транспортных систем и пассажирских информационных систем. В данный момент наблюдается переход к разработке и внедрению систем, предназначенных для массового потребителя, – пассажирских информационных систем [1]. Создание таких систем ставит перед разработчиками целый ряд новых задач. Архитектура подобных систем имеет свои особенности, связанные с их открытой (общедоступной) природой.

В процессе разработки систем мониторинга транспорта достаточно часто решается задача отображения пользователю большого количества навигационных данных в реальном времени. Типичным сценарием использования таких систем является просмотр текущего статуса, местоположения и направления движения транспортных средств определенного маршрута (направления) на базовой карте. В общедоступных пассажирских информационных системах решение аналогичной задачи имеет намного более высокий уровень сложности. Основной сложностью является обеспечение приемлемой скорости отображения навигационных данных пользователю при большом количестве пользователей, одновременно использующих сервис [2, 3].

В рамках данной работы рассматривается решение задачи оптимизации отображения навигационных данных конечному пользователю в реальном времени. Основной целью является разработка алгоритма обмена информацией для визуализации навигационных данных, учитывающего специфику работы в пассажирских информационных системах под высокой нагрузкой.

**Специфика пассажирских информационных систем.** Пассажирские информационные системы имеют свою специфику, которую нужно учитывать при разработке алгоритма отображения навигационных данных [4].

Первой особенностью является «обезличенность» конкретного транспортного средства, т.е. отсутствие информации о его государственном регистрационном (или бортовом) номере. Единственным важным идентификационным параметром транспортного средства для пользователя пассажирской информационной системы является текущий назначенный маршрут движения.

Второй особенностью является движение транспортных средств по строго ограниченному набору заранее определенных и не меняющихся в течение длительных промежутков времени маршрутов. Естественно, общественный пассажирский транспорт может двигаться с отклонениями от назначенного маршрута, например на пути в депо или при движении на станцию обслуживания между рейсами, но навигационные данные о движении вне маршрута не несут пользы пользователю пассажирских информационных систем и не должны в них отображаться.

Еще одна отличительная особенность, вытекающая из факта «обезличенности» транспортных средств, – просмотр пользователем навигационных данных одновременно множества транспортных средств, объединённых одним или набором маршрутов, выбранных пользователем.

Рассмотрим ряд стратегий обмена навигационными данными между клиентом и сервером.

**Периодический опрос сервера для получения полной информации.** С определенной периодичностью клиентская сторона генерирует запрос на полное обновление данных о текущем местоположении всех транспортных средств, входящих в маршруты, интересующие клиента (рис. 1).

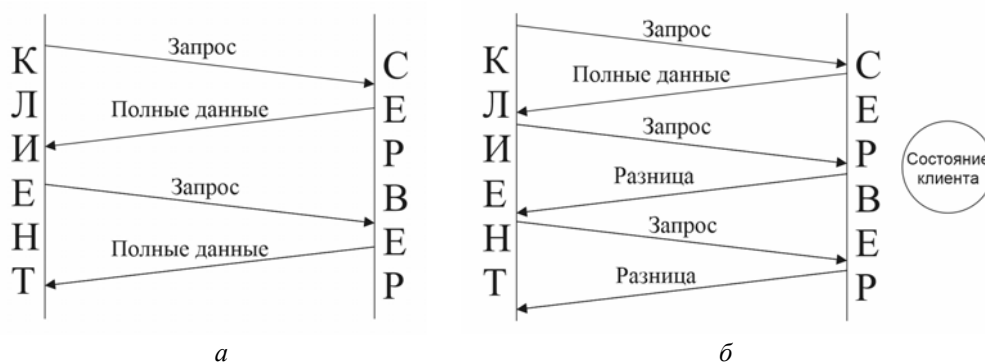


Рис. 1. Периодический опрос сервера для получения полной (а) и обновленной (б) информации

Данная стратегия гарантирует актуальность данных на момент получения сервером запроса и его обработки. При установке относительно небольшого периода опроса (1–3 с) возможно достичь визуальную плавность движения транспортных средств и достаточно высокую актуальность данных на клиентской стороне, но такой подход влечёт существенный рост объема передаваемой по сети информации и нагрузки на сервер.

**Периодический опрос сервера для получения обновленной информации.** Для оптимизации сетевого трафика в предыдущей рассмотренной стратегии вводится понятие «состояние клиента» на сервере. Состояние клиента отслеживается индивидуально для каждого обслуживаемого на сервере клиента. Данное состояние описывает последние переданные конкретному клиенту навигационные данные всех транспортных средств или отметки времени их регистрации.

При поступлении запроса от клиента проводится процедура сравнения состояния клиента, выплывшего запрос, и последнего доступного серверу состояния транспортных средств. Разница между двумя этими состояниями отправляется клиенту (см. рис. 1). В случае если названные состояния идентичны, клиенту отправляется соответствующее сообщение. Это позволяет существенно уменьшить объем передаваемой информации, особенно при высокой частоте запросов со стороны клиента в случае малой или отсутствующей активности транспортных средств.

Данная стратегия весьма эффективна с позиции оптимизации сетевого трафика, но она требует хранения состояния каждого клиента, что существенно повышает потребляемый сервером ресурс оперативной памяти. Кроме того, хранение состояния клиента на сервере противоречит концепции построения распределённых приложений REST (Representational State Transfer) [5]. Происходит так называемая «фиксация» клиента, при которой данные текущей сессии клиента оказываются на одном из серверов первой линии, что «фиксирует» все дальнейшие запросы данного клиента на этот сервер. В случае возникновения проблем с одним из серверов его клиенты не смогут прозрачно переключиться на использование одного из работающих серверов [6], так как сессионные данные будут потеряны. Данная проблема значительно затрудняет горизонтальное масштабирование системы и требует дополнительных затрат на синхронизацию сессий между серверами первой линии. Следует отметить, что оптимизация горизонтального масштабирования может быть значительно упрощена с использованием подхода, изложенного в [7].

Кроме того, остро стоит проблема информационной безопасности и связанных с ней рисков [8]. Одним из возможных путей снижения этих рисков может быть использование различных подходов, представленных в работах [9–11]. Существенное значение при реализации системы имеет модель разграничения доступа, которая лежит в основе к доступу данных [12].

**Push-нотификации в реальном времени.** Одним из способов минимизации количества запросов является использование одной из реализаций технологии push-нотификации для оповещения клиента об изменениях в местоположении транспортных средств.

Клиент, при выборе одного или нескольких маршрутов для наблюдения, выполняет подписку на сервере на навигационные данные этих маршрутов. В данном случае такая особенность пассажирских информационных систем, как «обезличенность» отдельных транспортных средств, позволяет значительно упростить процесс подписки, исключив последовательную подписку на каждое транспортное средство. Достаточно осуществить подписку на маршрут, что экономит сетевой трафик и количество запросов.

После выполнения подписки на ряд маршрутов клиент получает полный набор навигационных данных по каждому транспортному средству, входящему в эти маршруты. Любое обновление навигационной информации на сервере инициирует выборку клиентов, подписанных на маршрут, для транспортного средства которого произошло обновление, и рассылку push-нотификаций с информацией об этом изменении.

Кроме того, так как подписка происходит не на конкретное транспортное средство, а на маршрут, необходимо производить оповещение клиента не только об изменениях местоположений транспортных средств, но и о выходе/заходе транспортных средств с/на маршрут. Это необходимо, например, при отклонении от маршрута, начале и окончании рабочего дня, смене маршрута транспортным средством, выходе на обед или техническом обслуживании и в других ситуациях.

**Получение изменений текущей области видимости.** В большинстве ситуаций пользователь наблюдает лишь за небольшим участком карты, например за районом, где он находится в текущий момент, или за районом около остановки общественного пассажирского транспорта (рис. 2). Данный факт можно использовать для уменьшения набора посылаемых данных, игнорируя изменения местоположения транспортных средств, которые в момент изменения находятся вне области видимости (экстента) пользователя.

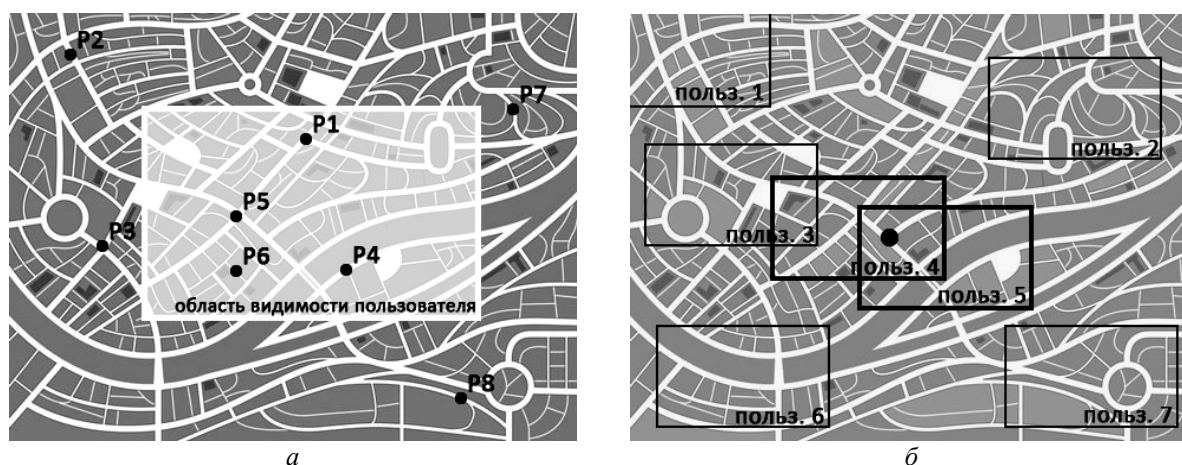


Рис. 2. Область видимости пользователя (а); P1–P8 – положения транспортных средств; пересечение экстенгов пользователей с обновленным местоположением ТС (б)

Для осуществления фильтрации транспортных средств по экстенгу необходимо оповещать серверную сторону об изменении пользователем масштаба карты и/или перемещении экстенга в плоскости проекции. Экстент определяется четырьмя значениями  $[X_{\min}, Y_{\min}, X_{\max}, Y_{\max}]$ , задающими прямоугольник на заранее определенной картографической проекции. При этом  $X_{\min}$  и  $Y_{\min}$  – верхний левый угол экстенга,  $X_{\max}$ ,  $Y_{\max}$  – нижний правый угол экстенга.

Последний экстент сохраняется в сессионных данных клиента на сервере. Эта сессионная информация не является критичной для работы системы. Если она будет утеряна по какой-либо причине, например при переключении клиента на другой сервер первой линии, то сервер может высылать клиенту изменения по всем транспортным средствам до поступления информации о текущем экстенге клиента.

При обновлении местоположения транспортного средства на сервере поиск клиентов для оповещения осуществляется в два этапа. Первым этапом выбираются клиенты, подписавшиеся на маршрут этого транспортного средства. Вторым этапом выполняется пересечение активных экстенгов выбранных на первом этапе клиентов с новым местоположением транспортного средства. В случае обнаружения совпадений производится оповещение отобранных на втором этапе клиентов (см. рис. 2).

Использование фильтрации транспортных средств по экстенду особенно эффективно при использовании в пассажирских информационных системах. Пользователь не имеет возможности выбора конкретного транспортного средства для наблюдения, так как выбор происходит только для групп транспортных средств по признаку маршрута. Кроме того, пассажирский транспорт искусственно распределяется (диспетчерской службой, расписанием) по всему маршруту. Это значит, что в любой момент времени, при наблюдении за участком маршрута, часть транспортных средств будет находиться вне зоны видимости пользователя.

**Получение изменений, существенных в текущем масштабе.** Достаточно часто при анализе дорожной ситуации в рамках всего города или другого достаточно крупного региона, например при наблюдении за междугородним автобусом, каждое обновление местоположения транспортного средства не будет влиять на его визуализацию. Это связано с дискретностью представления карты на экране пользователя. При определенном масштабе на один пиксель экрана пользователя может приходиться большее расстояние, чем было пройдено транспортным средством между обновлениями его местоположения на сервере.

Для фильтрации таких изменений необходимо увеличить объем сессионной информации клиента на сервере и сохранять последнюю полученную клиентом навигационную информацию для каждого транспортного средства.

Для каждого уровня масштабирования производится расчет приближенного размера стороны одного пикселя:  $S \approx C(\cos(l_{at}) / 2^{(z+8)})$ , где  $C$  – экваториальная длина окружности земли;  $l_{at}$  – широта в районе измерений;  $Z$  – уровень масштаба. Вычисленное значение используется для определения необходимости оповещения клиента об изменении местоположения транспортного средства. В случае если накопленное изменение не превысило размер пикселя, можно заключить, что в оповещении нет необходимости.

Современные экраны, особенно экраны мобильных устройств, имеют высокую плотность пикселей (до 400 PPI), что делает перемещение объекта на один пиксель совершенно незаметным пользователю. В случае если клиент имеет возможность получить PPI экрана, на котором отображается карта, возможно улучшить фильтрацию изменений на сервере, вычислив, на сколько пикселей должно сместиться транспортное средство, чтобы это имело значение при визуализации на данном устройстве.

**Использование локальной системы координат маршрута.** Традиционно в системах мониторинга транспорта для описания местоположения транспортного средства используются географические координаты, которые строятся по принципу сферических координат (долгота, широта), и направление движения. С целью оптимизации сетевого трафика предлагается уменьшить объем данных, необходимых для однозначного описания положения транспортного средства в пассажирской информационной системе.

Специфика пассажирских информационных систем позволяет считать, что любое транспортное средство в любой момент времени назначено на маршрут. Транспортное средство, не назначенное на маршрут, не имеет значимости для пассажира. Этот факт делает возможным использование одномерной локальной системы координат для описания положения транспортного средства в рамках маршрута.

Примем, что маршрут R1 (рис. 3) имеет  $n$  – остановок маршрута (P0–Pn) и  $g$  транспортных средств, движущихся по данному маршруту (A0–Ag). Первая остановка маршрута находится в нулевой отметке системы координат маршрута R1 (R1–0,0 = P0). Последняя остановка находится в отметке 1 системы координат маршрута R1 (R1–1,0 = Pn).

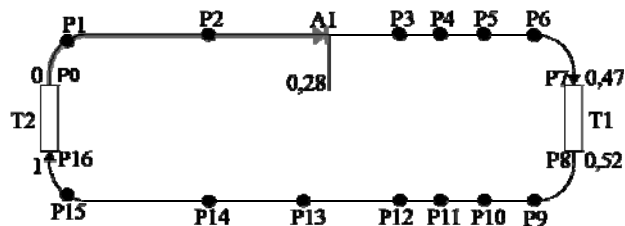


Рис. 3. Схема кольцевого маршрута общественного пассажирского транспорта

Любая остановка маршрута и позиция транспортного средства может быть описана одним дробным числом, однозначно определяющим его позицию на карте. В случае представления координаты десятичной дробью с четырьмя знаками после запятой и длиной маршрута 15 км точность

позиционирования будет 1,5 м, что более чем достаточно для нужд пассажирских информационных систем.

Кроме уменьшения объема передаваемой информации при обновлении местоположений транспортных средств, данное решение дает дополнительное преимущество в виде привязки транспортных средств к графу маршрутов, что устраняет неточности определения положения навигационных спутниковых систем.

Минусом этого подхода является необходимость передать на клиент полную информацию о маршрутах движения общественного пассажирского транспорта с базами систем координат этих маршрутов. Данный недостаток не является критичным, так как информационные пассажирские системы обычно уже имеют функционал по отображению маршрутов, а значит, передача маршрутов на клиент, возможно, уже и так производится. Кроме того, информация о маршрутах не является оперативной и изменяется достаточно редко, а значит, может кэшироваться на клиенте.

**Сравнение стратегий обмена навигационными данными.** Сравним описанные стратегии обмена данными для пассажирской информационной системы, обслуживающей одновременно 100 транспортных средств (таблица). Примем, что обновление данных о навигации происходит с периодичностью в 15 с. Данные о навигации транспортного средства имеют размер 24 байта (три 64-разрядных числа с плавающей запятой – долгота, широта и направление).

Для методики периодического опроса сервера определим период опроса – 5 с. С такой частотой движение транспортных средств будет достаточно плавным и отставание на клиенте в среднем будет около 2,5 с. При применении стратегии периодического опроса с периодом опроса 5 с на окончание периода ожидания в среднем обновится информация о местоположении 33,3(3) транспортных средств. Состояние на сервере для данной стратегии представляет собой полную копию последних переданных клиенту данных.

**Сравнение стратегий обмена данными для 100 единиц транспорта**

Стратегия обмена данными	Сетевой трафик за час	Состояние на сервере
Периодический опрос сервера для получения полной информации (период опроса – 10 с)	1,64 МиБ	0
Периодический опрос сервера для получения обновленной информации (период опроса – 10 с)	0,54 МиБ	2,34 КиБ (копия последних переданных клиенту данных)
Push-нотификации	0,54 МиБ	16 байт (идентификатор клиента)
Получение изменений текущей области видимости	Зависит от области видимости пользователя	32 байта (экстент пользователя)
Получение изменений, существенных в текущем масштабе	Зависит от масштаба области видимости пользователя	8 байт (масштаб)
Использование локальной системы координат маршрута в комбинации с push-нотификациями	0,18 МиБ (обновления местоположений) + объем маршрутов единовременно	16 байт (идентификатор клиента)

**Выводы.** После рассмотрения ряда стратегий обмена навигационными данными между клиентом и сервером можно сделать вывод, что при использовании комплексного подхода, объединяющего часть методик и оптимизаций, описанных выше, возможно существенно снизить потребление сетевого трафика, при этом оставив на должном уровне актуальность, точность данных и безопасность их приема/передачи на стороне клиента, избежав пересылки лишних данных.

Все описанные методики разрабатывались для проведения исследований в рамках разработки пассажирской информационной системы г. Томска группой компаний «ИНКОМ».

#### *Литература*

1. Zografos K. Integrated Passenger Information System for Multimodal Trip Planning // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2008. – Vol. 2072, No. 1. – P. 20–29.
2. Voorhees A.M. Forecasting Peak Hours of Travel // Highway Research Board Bulletin. – 2004. – No. 203. – P. 37–46.

3. Vaquero L.M. Dynamically scaling applications in the cloud // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 2011. – Vol. 41, No 3. – P. 45–52.
4. Hannikainen M. Architecture of a passenger information system for public transport services // Vehicular Technology Conference. – 2001. – Vol. 2. – P. 698–702.
5. Khare R. Extending the Representational State Transfer (REST) architectural style for decentralized systems // Software Engineering. – 2004. – P. 428–437.
6. Brewer E. Pushing the CAP: Strategies for Consistency and Availability // Computer. Journal. – 2012. – Vol. 45, No. 2. – P. 23–29.
7. Технология прямого поиска при решении задач прикладной математики / В.А. Архипов, С.С. Бондарчук, И.Г. Боровской, А.А. Шелупанов // Вычислительные технологии. – 1995. – Т. 4, № 10. – С. 19.
8. Прищеп С.В. Подходы и критерии оценки рисков информационной безопасности / С.В. Прищеп, С.В. Тимченко, А.А. Шелупанов // Безопасность информационных технологий. – 2007. – № 4. – С. 15–21.
9. Встраивание криптографических функций в систему связи с ограниченными ресурсами / С.К. Росошек, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов, С.С. Бондарчук // Вопросы защиты информации. – 2004. – № 2. – С. 22–25.
10. Сабанов А.Г. Требования к системам аутентификации по уровням строгости / А.Г. Сабанов, А.А. Шелупанов, Р.В. Мещеряков // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2–1. – С. 61–67.
11. Евсютин О.О. Приложения клеточных автоматов в области информационной безопасности и обработки данных / О.О. Евсютин, А.А. Шелупанов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 1–2. – С. 119–125.
12. Миронова В.Г. Реализация модели TAKE-GRANT как представление систем разграничения прав доступа в помещениях / В.Г. Миронова, А.А. Шелупанов, Н.Т. Югов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2–3. – С. 206–210.

---

**Капилевич Вячеслав Леонидович**

Аспирант каф. информатики и проектирования систем (ИПС) Института кибернетики НИ ТПУ  
Тел.: +7 (382-2) 51-75-30  
Эл. почта: skkapi@gmail.com

**Сонькин Дмитрий Михайлович**

Канд. техн. наук, доцент каф. ИПС  
Тел.: +7 (382-2) 51-75-30  
Эл. почта: sonkin@tpu.ru

**Игумнов Артем Олегович**

Аспирант каф. ИПС  
Тел.: +7 (382-2) 51-75-30  
Эл. почта: artishiro@gmail.com

Капилевич V.L., Сонькин D.M., Игумнов A.O.

**Combined algorithm for navigation data display in high-loaded web-oriented passenger information systems**

Different approaches to solving the problem of optimal navigation data display in high-loaded web-based passenger information systems are reviewed in the article. Combined algorithm which takes passenger information systems specifics into account is suggested. It is proposed to use the principle of push-notifications to deliver the updated navigation data to the client, taking into account the current map extent and zoom level for each user, as well as transmit position of the vehicle in the form of their relative position in its route. Described approaches are compared according to several criteria.

**Keywords:** navigation data, visualization, passenger information system, high-loaded systems.