

Применение дополненной реальности, БПЛА и SDN для приложений VANET

Сети *VANET* (*Vehicular Ad Hoc Network*) хорошо себя зарекомендовали при осуществлении обмена трафиком между участниками дорожного движения. Однако, не всегда возможностей *VANET* хватает, чтобы решать современные задачи. Технология *SDN*, в основе которой лежит разделение трафика на задачи управления и передачи данных, выгодно дополняет *VANET*. В данном разделе предложена модель управления светофорами на всем маршруте движения специального транспорта (машины скорой помощи, пожарные расчеты...), в которой в качестве контроллера *SDN* выступает беспилотный летательный аппарат. Также в модели учитывается возможность применения технологии дополненной реальности при управлении светофорами, с целью уменьшения неудобств других участников дорожного движения, связанных с необходимостью пропускать специальный транспорт [130, 387].

В настоящее время одним из важных направлений развития *Ad Hoc* сетей являются сети *VANET*. При этом в последние годы сети *VANET* и их приложения все больше рассматриваются в комплексном применении с другими новыми технологиями телекоммуникаций. Так, использование беспилотных летательных аппаратов *UAV* (*Unmanned Aerial Vehicle*) зачастую может существенно улучшить функционирование *VANET* и/или расширить функциональные возможности этой сети. Использование приложений дополненной реальности также предоставляет для *VANET* новые возможности, особенно во взаимосвязи с применением *UAV*. При этом в большинстве приложений *VANET*, в том числе и при использовании БПЛА и ДР, архитектура сети *VANET* строится на основе программно-конфигурируемых сетей *SDN*. Для выбора рациональной архитектуры сети *VANET* многие авторы используют методы кластеризации.

Далее рассмотрена модель управления светофорами в *VANET* при наличии приоритетного обслуживания. Вопросам управления светофорами в сети

VANET уделяется достаточно много внимания. При этом подчеркивается, что управление светофорами в сети *VANET* по сравнению с существующими системами переключения светофоров на перекрестках дает возможность не только снизить задержки в движении автомобилей [394], но и в городских условиях уменьшить выбросы CO₂ [395]. В статье [396] отмечается, что использование системы управления светофорами позволяет увеличить пропускную способность перекрестков на 42%.

4.6.1 Модель сети *VANET* с приоритетным обслуживанием

В данном разделе рассматривается модель управления светофорами при наличии приоритетного обслуживания. Приоритетное обслуживание означает, что существует кластер автомобилей, который движется с постоянной скоростью и для которого на протяжении маршрута его движения должно быть обеспечено нахождение светофоров на перекрестках в состоянии беспрепятственного проезда этого кластера автомобилей как показано на рисунке 4.17.



Рисунок 4.17 - Архитектура взаимодействия сетевых элементов

Наиболее простая реализация такого приоритетного проезда автомобилей состоит в заблаговременном переключении всех светофоров на пути следования в состояние зеленого света для этого кластера. Однако при достаточно длинном маршруте следования это приводит к неоправданным задержкам для других автомобилей, находящихся на этом перекрестке, а также к невозможности своевременного проезда перекрестка, например, машинами скорой медицинской помощи. Для снижения длительности ожидания автомобилей обычных кластеров, а также для обеспечения своевременного проезда перекрестков машинами скорой медицинской помощи предлагается следующая модель, основанная на использовании сети *VANET*, дополненной реальностью и архитектуры программно-конфигурируемых сетей, представленная на рисунке 4.18.

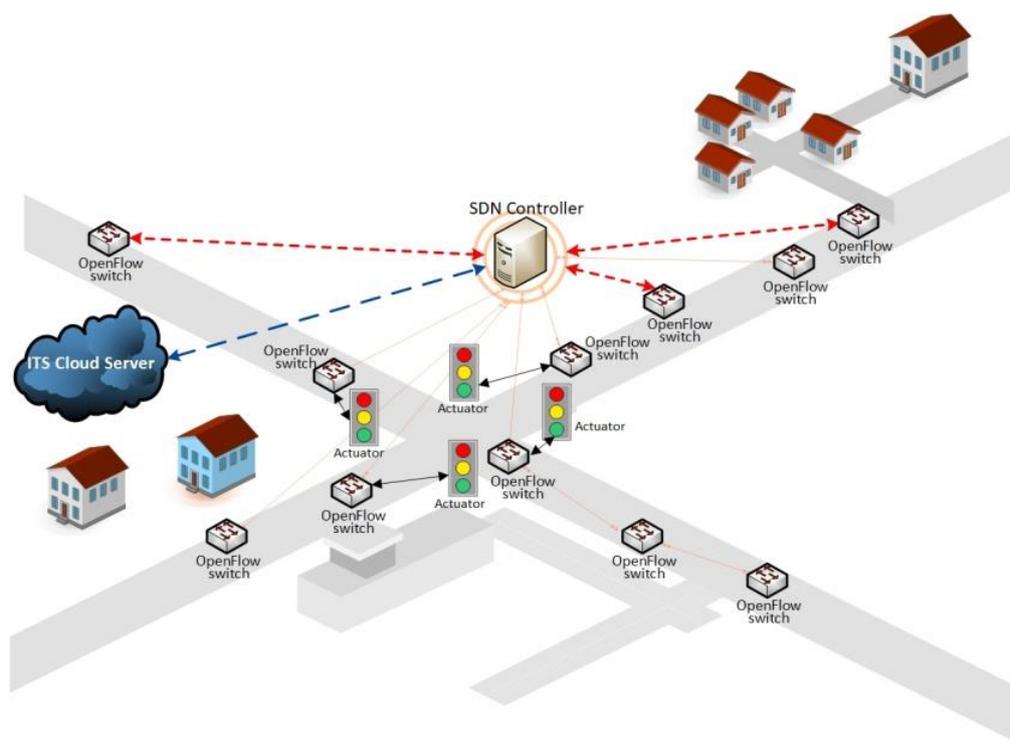


Рисунок 4.18 - Архитектура *SDN*

Отметим, что в предложенной структуре БПЛА выполняет функции контроллера сети *SDN*, периферийные модули которой размещены в

автомобилях приоритетного кластера. Изображение с БПЛА принимается на очки дополненной реальности помощником водителя, что позволяет ему знать скорость движения и иные параметры движения машин скорой помощи и иных подобных транспортных средств.

4.6.2 Алгоритм управления дорожным движением

Полагаем, что время следования транспортных средств рассматриваемого кластера по маршруту T определяется как сумма времен прохождения отдельных элементов маршрута T_i

$$T = \sum_{i=1}^k T_i, \quad (4.58)$$

где $i=1 \dots k$ номер участка маршрута,
 k -количество участков маршрута.

Задача управления состоит в обеспечении минимальной задержки прибытия заданного транспортного средства через дорожную сеть с помощью автоматических средств управления движением, при взаимодействии с ними через беспроводную сеть стандарта *IEEE 802.11p* (*VANET*). Задачу можно описать как задачу выбора кратчайшего маршрута, т.е. достижения $\min(T)$ путем выбора оптимального маршрута P среди множества возможных маршрутов $\{P\}$.

Для формального описания модели представим дорожную сеть в виде графа G , вершинами которого v являются перекрестки, а дугами e дороги. В общем случае имеет место ориентированный граф. Следует отметить, что в данный граф могут входить лишь те вершины и дуги (перекрестки и дороги), которые возможно использовать в маршруте. Каждой дуге графа приписано число, характеризующее расстояние между перекрестками или время прохождения этого расстояния c_i . Решение задачи заключается в динамическом (интерактивном) поиске кратчайшего (по расстоянию или времени) пути между пунктами начала и конца маршрута. Особенностью решения данной

задачи состоит в том, что необходимо: во-первых, определить коэффициенты, учитывающие время прохождения элемента маршрута с учетом возможности управления, во-вторых определить время подачи сигналов управления (расписание или план управления) и в-третьих, иметь возможность перестроить маршрут в любой текущей позиции транспортного средства m . Полагаем, что начало маршрута находится в вершине s , а конец маршрута в вершине t .

Предлагается следующий алгоритм.

1. Текущая позиция равна началу маршрута $m=s$.

2. Поиск кратчайшего пути между текущей позицией и концом маршрута $P_{\min}=\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$.

3. Формирование списка моментов времени включения разрешающего сигнала светофоров в направлении следования транспортного средства (расписания управления) $L=\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k\}$.

4. Передача сигналов управления (включение разрешающего сигнала) для очередного i -го участка маршрута.

5. Ожидание сигнала готовности (неготовности) i -го элемента маршрута в течение времени следования на участках до $i-1$ участка маршрута, включительно.

6. В случае готовности, следование к элементу i маршрута, $i=i+1$, $m=i$.

После прохождения i -го элемента маршрута, отмена управляющего воздействия (перевод в нормальный режим работы).

Иначе идти к п.2.

7. Если достигнут пункт назначения ($m=t$), то стоп,

Иначе идти к п.4.

В начале алгоритма задается начальная позиция транспортного средства (п.1), затем выполняется поиск кратчайшего пути между текущей позицией и пунктом назначения. Для этой цели может использоваться любой из известных алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе. В данном случае, следует отдать предпочтение эвристическим алгоритмам, которые позволяют существенно

снизить время поиска. Кроме этого могут быть использованы заготовки (варианты) маршрутов, полученные заранее. После нахождения (выбора) пути, формируется последовательность и время передачи управляющих сигналов (включения разрешающего сигнала светофора) на элементах маршрута. Эта последовательность выстраивается в хронологическом порядке следования выбранных моментов передачи сигналов управления. Время (момент) передачи управляющего сигнала выбирается исходя из времени, необходимого для прибытия транспортного средства к данному элементу маршрута и времени, необходимого для освобождения перекрестка от попутных транспортных средств.

$$t_i = \max(t_i^{(arr)}, \tau_i) \quad (4.59)$$

где, $t_i^{(arr)}$ - время прибытия ТС к i -му элементу маршрута;

τ_i - время, необходимое для освобождения элемента маршрута от попутных транспортных средств (или повышения его пропускной способности).

В общем случае $\tau_i = f(a, r)$, где a – интенсивность автомобильного трафика, r – параметры элемента маршрута (перекрестка, дороги). Описание данной функциональной зависимости представляет собой отдельную задачу, требующую проведения определенных исследований и натурных экспериментов. В нашем случае будем полагать, что каждой из вершин графа поставлена в соответствие известная функция $f_i(a)$. Такая функция может быть задана, например, таблицей, полученной экспериментально. Интенсивность трафика a может быть определена различными методами: статистически (по расписанию), с помощью средств мониторинга (стационарные видеокамеры, видеокамеры/фотокамеры, размещенные на БПЛА, сообщения от других средств наблюдения за реальным трафиком).

Эффективность применения управляющих воздействий достаточно легко оценить, упростив модель маршрута следования до многофазной СМО, с числом фаз, равным числу элементов маршрута, а транспортные средства как

поток заявок на ее входе. Например, при экспоненциальном распределении времени обслуживания (прохождения участка) и простейшем потоке на входе, время прохождения маршрута можно описать как

$$T = \sum_{i=1}^k \left(\frac{\rho_i \bar{t}_i}{1 - \rho_i} + \bar{t}_i \right), \quad (4.60)$$

где $\rho_i = \lambda_i \bar{t}_i$ нагрузка на i -той фаз,

λ_i - интенсивность потока на i -й фазе,

\bar{t}_i - время обслуживания (проезда) i -го участка.

k – количество участков в маршруте.

При применении управляющего воздействия на i -м элементе изменяется величина \bar{t}_i , а именно, оно приводит к уменьшению этой величины. Вследствие этого происходит уменьшение величины T . Это видно из приведенного выше выражения. Таким образом, время движения по маршруту существенно уменьшается, степень этого уменьшения может быть определена при составлении расписания управляющих воздействий. Это достигается своевременным увеличением пропускной способности элементов маршрута, вплоть до полного освобождения элементов маршрута от попутного транспорта. Основным достоинством данного метода является то, что управляющее воздействие (разрешающий сигнал светофора) производится в течении минимально необходимого времени, что позволяет минимизировать влияние на автомобильный трафик.

В данном разделе рассмотрено обеспечение приоритетного проезда машин со специальными сигналами. Зачастую это создает неудобства другим участникам дорожного движения, потому что они вынуждены ждать длительное время пока проедет кортеж. Это происходит из-за того, что светофоры переключают задолго до приближения машин со специальными сигналами.

Предложена модель своевременного управления светофорами. Для реализации функций управления в качестве базовой выбрана технология VANET. Для более эффективного управления масштабируемостью и

гибкостью сети *VANET* она дополнена технологией *SDN*, где в качестве контроллера выступает БПЛА.

Для визуальной оценки ситуации и контроля в модели используется технология дополненной реальности. Получаемый с БПЛА видеопоток может быть дополнен необходимой текущей информацией, например, скорость и интенсивность движения автомобилей по пересекающим улицам, габариты автомобилей и т.д.

В рамках предложенной модели разработан алгоритм выбора оптимального маршрута движения за счет минимизации времени прибытия в заданную точку.