

# Analisis of Attacks to Automated Vehicular Coordination Systems at Intersections

Benjamín Holloway  
benjamin@niclabs.cl  
Departamento de  
Ciencias de la Computación  
NIC Chile Research Labs  
Universidad de Chile

Sandra Cespedes  
scespedes@niclabs.cl  
Departamento de  
Ingeniería Eléctrica  
NIC Chile Research Labs  
Universidad de Chile

Alejandro Hevia  
ahevia@niclabs.cl  
Departamento de  
Ciencias de la Computación  
NIC Chile Research Labs  
Universidad de Chile

## Abstract

Automation of coordination at vehicular intersection seems to be a desirable technology. It could improve the efficiency of vehicular traffic while reducing the amount of accidents that happens at intersections. There are previous works that demonstrate that such automation is possible; however, there is a lack of research regarding the vulnerability of these systems in case of an attack in the network. In this work, we introduce and categorize the existent algorithms employed for automation of intersections through vehicular communications, and present the work in progress to identify the security vulnerabilities of such solutions in order to propose possible mitigations.

## 1. Introducción

La coordinación de vehículos en intersecciones es un problema cotidiano en las ciudades. Esta coordinación involucra un ámbito de seguridad, de tal manera que se busca que no hayan pérdidas ni materiales ni de vidas humanas mientras ocurre la coordinación. En la figura 1 se muestra un caso típico de coordinación en una intersección utilizando semáforos.

A pesar de que las formas actuales de coordinación vehicular funcionan, estas aún se pueden mejorar. Por un lado, en cuanto a la eficiencia de la coordinación, con los semáforos puede ocurrir que los tiempos de duración de las luces se descoordinen respecto al flujo vehicular de la calle, produciendo tiempos ociosos. Por otro lado, en cuanto a la seguridad en el transporte, como los vehículos son manejados por personas, estas

---

*Copyright © 2015 by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. This volume is published and copyrighted by its editors.*

This work is partially funded by Project FONDECYT Iniciación No. 11140045. Proceedings of the Spring School on Networks, Santiago, Chile, November 2016, published at [http://ceur-  
ws.org](http://ceur-<br/>ws.org)

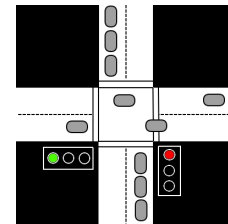


Figura 1: Coordinación de intersección con semáforos

pueden distraerse en el proceso de conducir el vehículo y producir accidentes.

Con el desarrollo de las telecomunicaciones, se han desarrollado tecnologías que permiten realizar comunicación inter-vehicular, también conocidas como *Vehicle-to-Vehicle communications* (V2V) donde es posible enviar información de cada vehículo (en la red vehicular ad-hoc) como su velocidad y posición actual. Esto, junto con tecnologías de conducción automática de vehículos, han permitido desarrollar sistemas de conducción vehicular automática. El ejemplo típico de uso es en las caravanas de vehículos equipados con *Cooperative Adaptive Cruise Control* (CACC), las cuales permiten que los vehículos viajen en grupos donde se mantiene una velocidad objetivo resguardando una distancia segura entre los autos. Este tipo de soluciones incrementa el uso eficiente de autopistas a la vez que reduce el consumo de combustible de los autos participantes.

La combinación de estas tecnologías se están aprovechando para desarrollar sistemas de coordinación vehicular en intersecciones, donde se busca mejorar las falencias de los actuales sistemas de coordinación, es decir, mejorar la eficiencia del transporte urbano en intersecciones y disminuir la cantidad total de accidentes que se producen en estas. En la figura 2 se muestra un ejemplo en donde los vehículos, conectados a una red vehicular, se comunican entre ellos y cruzan en forma coordinada.

A continuación se presentan algunos trabajos que proponen sistemas de coordinación vehicular automática en intersecciones. Todos estos consisten en algoritmos que buscan el orden para que los vehículos

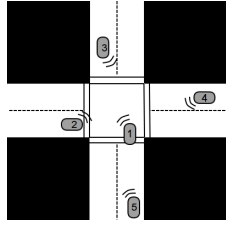


Figura 2: Coordinación de intersección automatizada presentes en la intersección la crucen sin accidentes y en el menor tiempo posible:

- En [ZR12] se plantea un algoritmo que, con teoría de juegos, busca optimizar el paso de vehículos en intersecciones. Para realizar esto, se busca minimizar el tiempo de cruce de cada vehículo mientras se evita que dos vehículos crucen por el mismo lugar al mismo tiempo. En las simulaciones realizadas se muestra que se pueden mejorar los tiempos de espera en una intersección en 35 segundos por vehículo contra una intersección controlada por discos pare. Para el funcionamiento del algoritmo, toda la información necesaria es enviada a una infraestructura central de la intersección, la cual es la encargada de modificar las velocidades de los vehículos.
- En [MMG14] el algoritmo planteado consiste en obtener la información de todos los vehículos en o acercándose a la intersección (i.e., posición, velocidad y aceleración actual). Primero se simula cuánto se demoraría cada vehículo en cruzar en condiciones ideales (si la intersección estuviese vacía), luego se establecen todas las permutaciones posibles en que todos los vehículos podrían cruzar la intersección y se calcula cuánto se demoraría cada vehículo para cada permutación. La demora total se obtiene mediante la suma de la demora de cada vehículo, la cual corresponde a cuánto se demoraría respecto a la condición ideal. Finalmente, se escoge el orden que tome menor tiempo en ejecutarse. Para realizar este procedimiento se utiliza infraestructura de la intersección que recibe toda la información y realiza todos los cálculos de demoras.
- En [LW06] se propone un algoritmo que genera todas las permutaciones de orden en que los vehículos pueden cruzar, descarta aquellas que no se pueden realizar (por ejemplo, que el último vehículo que llegó a la intersección cruce antes que los que están frente a él), calcula cuánto se demoraría cada permutación posible y ejecuta la que demore menos. Todo este cálculo es realizado por el primer vehículo que obtenga toda la información de todos los vehículos en la intersección.

- En [MWN15] se propone un algoritmo que consiste en dos niveles. El primer nivel es de supervisión, que se encarga de asignar el orden en que cruzarán los vehículos la intersección. La segunda fase consiste en que dado que un vehículo sepa después de quién tiene que pasar, se mantenga una distancia con ese vehículo de tal manera de cruzar la intersección sin atravesarse en su camino. El encargado del nivel de supervisión es solo una entidad, mientras que el nivel de ejecución (mantener la distancia respecto al vehículo que se está siguiendo) es ejecutado por cada vehículo.

En este trabajo se busca identificar e implementar posibles ataques sobre uno de los algoritmos para sistemas de coordinación en intersecciones, analizando su comportamiento cuando se encuentran bajo un ataque y comparándolo con el funcionamiento del sistema sin ataques presentes.

## 2. Elección del Algoritmo a Analizar y Ataques a Realizar

Para la elección del algoritmo sobre el que se realizarán los ataques, se realizó una comparación de acuerdo a tres criterios: información necesaria para funcionar, entre quienes se realiza la comunicación y complejidad del algoritmo. Esta comparación se encuentra en la Tabla 1. Al analizar los datos obtenidos, se puede ver que 3 de los 4 algoritmos presentan algún grado de centralización en su funcionamiento. Tanto en [ZR12] como en [MMG14] cada vehículo está constantemente enviando y recibiendo información de una entidad central, mientras que en [MWN15] cada vehículo, al llegar a la intersección, tiene que comunicarse con una entidad central para que ésta le indique de qué vehículo debe recibir información. El resto de tiempo cada vehículo recibe información de su vehículo objetivo y envía información a cada vehículo que lo esté siguiendo. En [LW06] el algoritmo presentado es semi-centralizado, dado que no hay una entidad única encargada de realizar la coordinación, si no que cada vehículo está constantemente recolectando la información de todos los vehículos presentes en la intersección, y es aquel que logra recolectar toda la información el que realiza la coordinación.

El trabajo de [LW06] fue descartado dado que, a pesar de que presenta un gran nivel de descentralización, el vehículo que debe realizar la coordinación realiza una gran cantidad de cómputo en poco tiempo, lo que no parece ser implementable.

El algoritmo con el que se trabajará es el presentado en [MWN15]. Para trabajar con este algoritmo, primero se propuso una implementación descentralizada del nivel de supervisión. Esta consiste en elegir un líder

Tabla 1: Comparación de algoritmos para coordinación automática de intersecciones

Paper\Criterio	Información necesaria para funcionar	Entre quienes se comunican	Complejidad
[MWN15]	Supervisory Level (No es simulado en el paper): -Vía de ingreso de cada vehículo -Intención de cada vehículo Execution level: cada vehículo requiere: -Su propia posición -Posición, velocidad y aceleración de vehículo objetivo -Saber a que vehículo debe seguir	Cada vehículo con el agente del supervisory level al ingresar a la zona de coordinación. En cada iteración, cada vehículo con su vehículo objetivo	La implementación del algoritmo puede volverse engorrosa con la parametrización de todas las posiciones
[ZR12]	Manager Agent (agente coordinador) requiere que cada reactive agent (vehículo) le envíe: -Características físicas de vehículo -Posición, velocidad y aceleración actual Cada reactive agent requiere del manager agent: -Actualización de velocidad.	Cada reactive agent se comunica con el manager agent y viceversa	El cálculo de la utilidad en cada iteración no está completamente especificada.
[MMG14]	Agente coordinador requiere, por cada vehículo a 100m de la intersección: -Posición y velocidad actual -Vía por la que se acerca a la intersección -Posición en la vía Agente coordinador manda a cada vehículo: -Actualización de velocidad	Cada vehículo se comunica con el agente coordinador y viceversa	Cada paso del algoritmo está descrito, la implementación es directa
[LW06]	Cada vehículo comparte con los otros lo siguiente: -Id vehículo -Tamaño vehículo -Vía actual -Hacia dónde se dirige -Variación de velocidad actual -Plan de manejo de cada vehículo (después de haberse coordinado) -Posición (vía actual y distancia al cruce) de cada vehículo -Señal de emergencia si es necesaria	Los vehículos se dividen en subgrupos de a los más 3 miembros. Cada subgrupo posee un líder. Este se comunica con los otros líderes de subgrupos y con los miembros de su subgrupo	El algoritmo está descrito paso a paso. La sección del algoritmo que implica escoger un orden puede ser compleja

para que realice la coordinación. Este líder realizará la coordinación hasta que abandone el área de la intersección, eligiéndose como nuevo líder al vehículo que lleve menos tiempo en la caravana. Con este cambio, el nivel de descentralización del algoritmo es mayor, solo presentando este funcionamiento semi-centralizado en el vehículo encargado del nivel de supervisión.

Para los ataques a estudiar, se iniciará con un ataque del estilo *fail-stop* sobre el vehículo que tenga el nivel de supervisión, de tal manera que, en un inicio, deje de responder para realizar la coordinación pero sí responda que es el líder de la caravana actualmente.

Luego se implementarán ataques del tipo *message forgery*, ya sea interviniendo los mensajes enviados por los vehículos o la información misma que envían, modificando información esencial para el funcionamiento del algoritmo, como la posición real del vehículo o su aceleración actual.

### 3. Conclusiones

En este trabajo se aborda el tema de la seguridad en algoritmos de coordinación automática de vehículos en intersecciones. Para esto, primero se realizó un estudio comparativo de algunos trabajos para encontrar cuál es el que mejor cumple con las características necesarias para realizar este análisis. Luego de elegido el trabajo, este se modificó para que funcione de un modo descentralizado, planteándose luego algunos tipos de ataques que son interesantes de estudiar sobre el algoritmo elegido.

En el trabajo a futuro se espera que los resultados muestren que los algoritmos existentes de coordinación

automática de vehículos en intersección se pueden ver afectados por ataques de seguridad, causando ya sea pérdida materiales o de vidas humanas, y que existen mitigaciones que pueden evitar estas pérdidas, con efecto en la eficiencia de los algoritmos.

### Referencias

- [LW06] Li Li and Fei-Yue Wang. Cooperative Driving at Blind Crossings Using Intervehicle Communication. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55(6):1712–1724, nov 2006.
- [MMG14] Igor Moretti, Monica Menendez, and Ilgin Guler. Car2X communications at intersections: Delay and emission minimizing algorithms implemented in VISSIM. *IEEE Vehicular Networking Conference*, 2014.
- [MWN15] Alejandro Ivan Morales Medina, Nathan Van De Wouw, and Henk Nijmeijer. Automation of a T-intersection Using Virtual Platoons of Cooperative Autonomous Vehicles. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2015-Octob:1696–1701, 2015.
- [ZR12] Ismail H. Zohdy and Hesham Rakha. Game theory algorithm for intersection-based cooperative adaptive cruise control (CACC) systems. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, pages 1097–1102, 2012.