

氏 名	SABARAGAMU KORALALAGE KRISHAN HARINDA SABARAGAMUWA
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第 763 号
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	A Novel Radio Frequency Tag Architecture for Intelligent Transportation System (高度交通システムのための新しい RF タグアーキテクチャ)
論文審査委員	委員長 教 授 重原 孝臣 委 員 教 授 吉田 紀彦 委 員 准教授 小柴 健史 委 員 准教授 吉浦 紀晃

論文の内容の要旨

Safety is the paramount reason for Intelligent Transportation Systems (ITS). However, traffic accidents have been taking thousands of lives each year, outnumbering any deadly diseases or natural disasters. America alone reports more than 40,000 deaths every year due to fatal accidents. Decent percentage of accidents leads to fatal injuries by making permanent disabilities to human beings. Behind every statistic and every number there is a family and also a tragic story. It is absolutely intolerable that people are still dying on our roads each day. The loss of a life, no matter what the age, is a tragedy for any family. Studies show that about 60% roadway collisions could be avoided if the operator of the vehicle was provided warning at least one-half second prior to a collision. Having good and reliable infrastructure in intelligent transportation system is very important for this matter, even when providing emergency supports via ambulances, fire brigade, and rescue vehicles which work on saving vital seconds of invaluable human life.

According to investigations, up until now (2009), there is no satisfactory level of technological solution in use to mitigate accidents or support emergency vehicles towards the incident though there are several proposed solutions. Thus this opens up a wide array of research problems. On the other hand, existing infrastructure facilities are unable to accommodate the rising demand occurred due to the increasing population and their usage of vehicles to transport people and goods. Similarly today (2009), systems in intersections do not provide or assure, safe and efficient passing of emergency vehicles instead they have become barriers with arising congestion.

We realize that the main reason to occur fatalities is lack of proper communications among each actor: users (passenger or pedestrian), vehicles (including driver) and infrastructure in ITS. Similarly, lack of proper communication becomes a big barrier for emergency vehicles to reach an incident faster. However, even today (2009), there is no common platform to make extensive communication among those three actors efficiently though there are several methods exist or proposed for vehicle to vehicle (V2V), vehicle to infrastructure (V2I), and infrastructure to vehicle (I2V) communication scenarios. Therefore, those solutions were unable to support collision detection within the minimum required time due to low accuracy of positioning and time taken to establish the aforementioned communication among three actors in motion.

To solve the above explained problem, industry practitioners and universities have proposed and experimented several solutions while combination of several technologies are under testing. Some of the currently using technologies to make smooth passing of intersections are stop signs, periodically changing traffic signal lights with or without aided infrared or metal sensors reading of vehicle count, road side mirror installations, vision recognition systems, global positioning system (GPS) or differential global- positioning system (DGPS) with maps, dedicated short range communications (DSRC) systems with transceivers, and vehicular ad-hoc networks. All of them are trying to facilitate reliable and efficient communication among three main actors in ITS and thereby solve the above problem. However due to the increasing demand and dynamic nature of the arriving and departing vehicles, stop signs, mirrors, traffic signal lights were unable to act efficiently in congestions or alleviate injuries or fatalities due to collisions.

When it comes to collision detection, it is necessary to identify the location of a moving vehicle accurately. All the existing solutions are working closely with GPS or DGPS to achieve this localization technology as in theory it provides the capability to locate a GPS-equipped vehicle anywhere on the Earth's surface. However, in practice, GPS is having minimum error of 3 meters and also limited by the need for clear 'views' of orbiting satellites; bridges, tunnels, and the urban canyons of downtown areas can block or interfere with GPS signals, resulting in unacceptable gaps in service. Some cities in Japan where there are very tall buildings, GPS has error of 30-300 meters. In addition, ad hoc networks formed by nearby vehicles are quite different from traditional ad hoc networks due to high mobility of vehicles. Therefore relative positioning techniques are not suitable for these applications.

Next necessity is establishing communication platform or the network. For this several wireless communication technologies have been proposed. WiFi, WiMax, 3G, Add-hock network, Radar, Infrared, and radio frequency identification (RFID) including the dedicated short-range communications (DSRC) are some of the main technologies proposed to solve above issue. No networking solution could achieve the desired speed when establishing communication other than RFID which support spontaneous communication. Therefore, governments of the all over the world are now concentrating the researched on DSRC radio frequency technology. However there will be a countable delay if DSRC enabled solutions try to refer databases for interpretation of information relevant to stored code.

Therefore after extensive survey and analysis of ITS requirements, I came up with novel radio frequency (RF) tag architecture and named as Object Tag (OTag). OTag was designed to represent the real world objects and actors in RF technology with common communicational protocols. The OTag inherits all the characteristics of RFID tag and is designed with abilities of providing access control mechanisms and being stand alone, interoperable, self-describing, and plug-and-playable while enabling off-line communications. Then the verifications of OTag communicational protocols were carried out using AVISPA and SPAN for authentication and confidentiality to assure the protection against security and privacy risks between OTag and Interrogators (Reader/Writer). Next, communicational architecture including collision detection algorithm were developed to provide smooth passing of intersections mitigating collisions and providing assistance to reach accident sights faster through congestions. Then possible applications of OTag in ITS, are derived including electronic vehicle registration systems and fully automated parking management system. Additionally, how OTag architecture can apply to railway system was also designed. Finally a simulation was carried out to prove the effectiveness of OTag architecture at intersections by comparing against the traffic signal enabled intersections. Based on above areas, this thesis introduces new communication platform showing how OTag architecture will advance the existing ITSs and create novel applications to support safe, reliable, comfortable, and productive social life in eco-friendly manner.

論文の審査結果の要旨

通信技術や画像処理等の IT 技術の進歩に伴い、高度交通システム (Intelligent Transportation System) の研究開発が進んでおり、その中でも自動車の衝突回避は重要な研究対象である。このことは、毎年多くの人々が自動車事故によって命を落としていることから明らかである。衝突回避の研究に関しては、追突や正面衝突の回避についての研究は多いが、交差点における衝突回避に関する研究は少ない。交差点における衝突回避の研究においては自車及び他車の位置情報の取得にかかる時間や位置情報の誤差が問題となっている。

一方、Radio Frequency Tag (RF タグ) は社会に広く普及しており、例えば、様々な物体に RF タグを設置し、物体の情報を RF タグに保持させることにより物流等のコストダウンに役立っている。また、RF タグは高度交通システムにおいても利用されており、例えば高速道路の Electronic Toll Collection System (ETC) は応用例の 1 つである。今後、RF タグは物品の管理等に非常に多く利用されていくと予想され、その生産コストは低下していくと思われる。

本学位論文では、新しい RF タグアーキテクチャ OTag を提案した。OTag はこれまでの RF タグアーキテクチャとは異なり、複数のアクセス権限を用意することで情報へのアクセスを制御することができるものであり、自動車が作られてから廃車になるまでの間、OTag を利用することで自動車の情報を容易に管理することができる。重要な情報が RF タグに含まれることも想定されるため、RF タグの通信には安全性が要求される。本論文では OTag の通信プロトコルの検証を行い、安全性に関する性質が成り立つことを確認した。さらに、OTag の利用による交差点における衝突回避方法の提案を行い、この方法が正しく機能することをシミュレーションにより確認した。この衝突回避方法では、周りの自動車の情報に基づいて各自動車が自動車の動きを独自に決定することで衝突回避を行っている。この決定のために必要な自動車間通信や自動車の位置情報の取得に OTag が利用されている。さらに、本学位論文では駐車場における自動車の誘導システムや料金自動支払いシステム、鉄道の運行制御など交通システムの様々な場面での OTag の応用方法を提案している。

論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では、現在の交通システムの問題点やこれからの高度交通システムの取り組むべき課題を示し、交通システムの構成要素である自動車、交通基盤、歩行者の間での通信の必要性を示している。

第 2 章では、高度交通システムに関連研究について示し、高度交通システムでの研究対象の 1 つである交差点における衝突回避の重要性と現状での問題点を指摘している。具体的には、交差点における衝突回避を行う上で通信方式に問題があること、自動車の位置情報を取得する方法に問題があることを示している。さらに、高度交通システムにおける RF タグの利用や関連研究を示し、現在の通信性能等について述べている。

第 3 章では、高度交通システムにおいて、自動車、交通基盤、歩行者の間での通信の基盤となる RF タグアーキテクチャ OTag を提案し、その概要、その構成、通信プロトコルを示し、このアーキテクチャの必要性について議論している。

第4章では、OTagで利用する通信プロトコルの安全性について、プロトコル検証ツール AVISPA を用いて検証を行った。具体的には、通信プロトコルを High Level Protocol Specification Language で記述し、このプロトコル記述を AVISPA により検証した。この検証は、Dolev-Yao のモデルに基づく攻撃者を想定して行われている。その結果、提案している通信プロトコルでは以下の性質が成り立つことを確認した。

- ・ entity authentication
- ・ message authentication
- ・ secrecy

さらに replay attack に対して耐性があることも確認した。

第5章では、高度交通システムの研究対象の1つである交差点における自動車の衝突回避のための OTag の利用方法と衝突回避アルゴリズムの提案を行っている。衝突回避のために必要な情報を OTag に埋め込むためのフォーマットを工夫することで通信の頻度を下げている。また、救急車などの緊急車両には衝突を回避しつつ優先的に道路を利用させる方法も提案している。衝突回避以外にも、駐車場における自動車の誘導システムや料金自動支払いシステム、鉄道の運行制御など交通システムの様々な場面での OTag の応用方法を提案している。

第6章では、提案した衝突回避方法が正しく機能することをシミュレーションにより確認した。このシミュレーションにより、交差点における自動車の台数に関わらず衝突回避が可能であること、そして、他の道路を走っている自動車がない場合に自動車が交差点を通過できることを確認した。

第7章では、本研究から得られた成果と知見をまとめ、今後の研究課題を示した。

以上述べたように、本学位論文では、高度交通システムにおける重要な問題の1つである交差点における衝突回避の解決策として、新しいRF タグアーキテクチャ OTag と、OTag を利用した衝突回避方法を提案し、シミュレーションによりこの衝突回避方法が機能することを確認した。また、OTag の高度交通システムへの様々な応用方法を提案した。この結果は安全で便利な交通システムの構築に大きく寄与・貢献するものである。

なお、本学位論文の主要な内容はすでに2本の学術論文誌と5本の査読付き国際会議論文集において公表されている。また、本学位論文に関連する研究成果が2本の査読付き国際会議論文集において公表されている。以上より、本論文を博士（学術）の学位に相応しいものと認め、合格と判定した。