

위치 측정 정확도 향상을 위한 RTLS의 이동형 리더 선택

(Mobile Reader Selection for Improving Precision of Location Estimation in RTLS)

김잠제[†] 손상현[†]
 (Jamje Kim) (Sanghyun Son)

최훈[†] 백윤주^{**}
 (Hoon Choi) (Yunju Baek)

요약 RTLS(Real Time Locating Systems)는 실시간으로 대상들의 위치를 추적하고 파악하는데 사용된다. RTLS는 태그, 리더, 엔진 등으로 구성되고, 다양한 환경에 적용된다. RTLS의 문제점 중 하나는 환경에 따라 리더를 설치하는데 제약사항이 발생할 수 있다는 것이다. 이러한 환경에서는 이동형 리더를 사용할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있다. 이동형 리더가 많아지면 전체 리더 개수도 늘어난다. 그리고 그 중에서 일부 유용한 리더들만 선택하여 이용한다. 선택된 리더들은 RTLS의 성능에 영향을 미친다. 이 논문에서는 convex hull 알고리즘을 사용하여 좋은 리더를 선택하는 기술을 소개한다. 성능 평가 결과, 위치오차가 작고, 네트워크 오버헤드를 줄여 RTLS의 성능이 개선되었음을 보여준다.

키워드 : RTLS, 이동형 리더, Convex Hull

- 이 논문 또는 저서는 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/차세대물류 IT 기술연구사업단)
- 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '위치 측정 정확도의 향상을 위한 RTLS의 이동형 리더 선택'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 정희원 : 부산대학교 컴퓨터공학과
 jjkim@embed.re.kr
 hyun0427@embed.re.kr
 hara_eslab@embed.re.kr

^{**} 종신희원 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
 yunju@embed.re.kr
 (Corresponding author)

논문접수 : 2009년 8월 14일
 심사완료 : 2009년 11월 3일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제1호(2010.1)

Abstract RTLS (Real Time Locating Systems) are used to track and identify the location of objects in real time. RTLS generally consist of tags, readers and engine etc. and applied in various environments. One problem encountered in RTLS is constraints for setting up readers according to environments. In these challenging environments, it is necessary to develop techniques that can use mobile readers. As mobile reader increase, whole reader increase. And it is necessary to develop technique that can select useful readers. Selected readers including mobile readers take effect performance of RTLS. This paper introduces the technique for selecting good readers using the convex hull algorithm. The result show the good performance which based on tag's location error and reduce the networking overhead.

Key words : RTLS, Mobile reader, Convex Hull

1. 서론

RTLS(Real Time Locating Systems)는 그림 1과 같이 대상의 위치를 실시간으로 파악하는 기술이다. 유사한 기술인 GPS(Global Positioning System)는 통신 모듈이 상대적으로 고가이고 실내와 같이 무선 신호가 닿지 않는 음영 지역에서는 사용할 수 없는 문제가 있다. 그래서 홈 네트워크나 물류환경 등과 같은 응용에서는 Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, RFID와 같은 근거리 통신 기술을 이용한 RTLS가 적합하다.

RTLS를 구성하기 위해서는 객체에 장착되는 태그와 태그로부터 신호를 받아 거리를 계산하는 리더, 그리고 리더로부터 거리 정보를 받아 위치를 측정하는 엔진이 필요하다. 또한 항만 물류 환경 등의 넓은 지역에서 리더의 설치가 용이하지 않은 경우 이동형 리더도 추가로 구성한다.

이동형 리더의 추가는 음영지역(무선 신호를 받지 못하는 지역)을 극복하여 RTLS의 성능을 향상시키기 위함이다. 그러나 이동형 리더를 추가하면서 이동형 리더들이 배치된 형태에 따라 위치 오차가 커진다. 그리고 이동형 리더가 많으면 거리값 측정을 위한 RF 통신, 엔진에게 전달하는 패킷양 또한 많아져 통신 오버헤드가

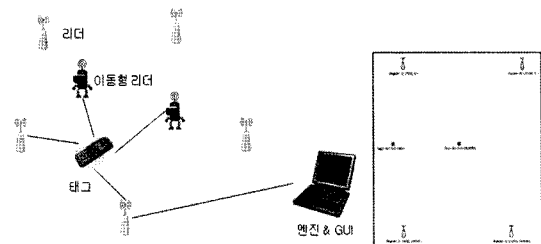


그림 1 RTLS 개념도

발생한다. 따라서 RTLS의 성능을 향상시키기 위해 적절한 이동형 리더를 선택하는 과정이 필요하다.

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 convex hull 알고리즘을 사용한다[1]. convex hull 알고리즘은 주어진 점들을 가지고 볼록 다각형을 반환하는 알고리즘이다. 고정된 리더와 이동형 리더들의 좌표로 볼록 다각형을 만들면 위치 오차가 크게 발생하는 리더 셋을 피할 확률이 높아지고, 이동형 리더의 무익한 동작을 막을 수 있다. 2장에서는 기존에 있던 RTLS의 구현을 설명하고, 3장에서는 convex hull 알고리즘을 이용한 기법을 제시한다. 그리고 4장에서 구현된 RTLS의 동작과 실험환경을 설명한 뒤, 5장에서 성능평가를 한다. 6장에서 결론을 내린다.

2. 배경

2.1 RTLS 동작 과정

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a CSS PHY를 이용한 RTLS를 사용하였다[2]. 구현된 RTLS의 동작과정은 다음과 같다.

1. 태그가 블링크 신호를 브로드캐스트 한다.
2. 블링크 신호를 받은 리더들은 태그로부터 블링크 신호를 받았다는 메시지를 엔진에게 전달한다.
3. 엔진은 같은 시간에 블링크 신호를 받은 리더들에게 거리 측정을 시도하라는 메시지를 보낸다.
4. 선택된 리더들은 각각 태그와 거리를 측정한다.
5. 리더들은 측정된 값들을 엔진에게 전송한다.
6. 엔진은 리더들로부터 받은 거리값들을 가지고 연산하여 태그의 위치를 측정한다.

2.2 이동형 리더

움영지역은 RTLS의 성능을 떨어뜨리는 요인 중 하나이다. 움영지역은 장애물이 많거나 리더의 설치가 제한되어 RF 신호를 받지 못하는 지역을 의미한다. RF 통신이 이루어지지 않으면 리더가 태그의 블링크 신호를 받지 못한다. RF 신호를 받는다 하더라도 장애물에 의한 굴절, 반사, 분산, 회절 등의 이유로 올바른 거리를 측정하지 못한다. 이러한 움영지역의 장애를 극복하기 위해서 기존 RTLS와 상대적으로 더 많은 리더를 설치하게 된다.

이동형 리더는 추가로 리더를 설치할 수 없는 지역을 돌아다니면서 리더와 같은 역할을 한다. 이동형 리더의 위치는 유동적이다. 그래서 이동형 리더들은 고정형 리더에게 위치를 주기적으로 전송한다.

2.3 위치 측정 기법 - 삼각측량법

삼각측량법은 3개 이상의 리더 위치와 각 리더로부터 태그까지의 거리를 사용하여 태그의 위치 좌표를 구하는 기법이다. 그림 2에서 리더1, 리더2, 리더3의 위치 좌표는 원의 중심을 나타내고, 각 거리 값들은 반지름을 나타낸다. 이 원들이 만나는 위치가 태그의 좌표가 된다.

위치 오차는 원들이 만나는 위치가 영역이기 때문에 발생한다. 하드웨어 특성상 태그와 리더 사이의 거리 값은 오차를 가진다. 그리고 실제 거리보다 길게 측정된다[3]. 위치 측정의 결과는 원들이 만나는 영역이다. 따라서, 원들이 만나는 영역이 클수록 위치 결과 값의 오차는 커진다. 최종 값은 least square 방식을 이용하여 이 영역의 중심이 태그의 위치로 측정된다[4].

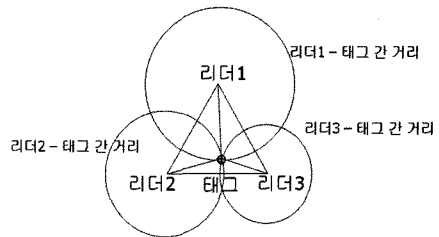


그림 2 삼각측량법 개념도

3. 문제점 및 접근방법

삼각측량 기법을 사용하기 때문에 i.) 태그와 리더간의 거리 측정과 ii.) 리더의 위치에 따른 문제가 발생한다.

3.1 태그와 리더 사이의 거리 변화

태그와 리더 사이의 거리 값의 변화는 태그의 위치에 따라 다르다. 태그가 삼각형 내부에서 움직일 때는 하나의 리더와 가까워질 때 다른 두 리더와의 거리는 멀어진다. 그리고, 태그가 삼각형 외부에서 움직일 때는 하나의 리더와 가까워질 때, 다른 두 리더와의 거리도 짧아진다. 이러한 차이가 위치 측정 결과에 영향을 준다.

그림 3은 리더 1, 2, 3이 고정된 위치에 있을 때, 태그의 위치에 따른 위치 오차 범위를 보여준다. 그림 3의 왼쪽 그림은 태그가 삼각형 내부에 있을 때를 나타낸다. 태그가 아래로 이동해서 삼각형 외부로 나가면 그림 3의 오른쪽 그림처럼 모든 원의 크기가 커지면서 위치 오차 범위도 넓어진다.

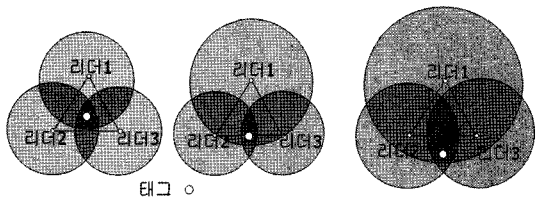


그림 3 태그-리더간 거리 변화에 따른 오차 범위

3.2 이동형 리더의 위치 변화

이동형 리더의 움직임도 RTLS의 위치오차에 영향을 준다. 즉, 태그의 위치는 고정되어 있지만 이동형 리더의 움직임에 따라 위치 오차가 달라진다. 그림 4는 태그

가 고정된 위치에 있을 때, 리더1의 위치에 따른 위치 오차 범위를 나타낸다. 리더-태그 사이의 거리 오차를 일정하게 설정했지만 3개의 원이 겹치는 위치 오차 범위는 각각 다르게 나타난다.

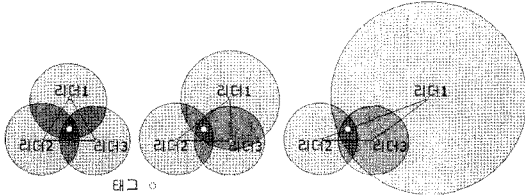


그림 4 리더의 위치에 따른 오차 범위

그림 4의 왼쪽 그림은 리더1, 2, 3이 이루는 삼각형의 최소 각이 60°일 때, 가운데 그림은 삼각형의 최소 각이 45°일 때를 나타낸다. 그리고 그림 4의 오른쪽 그림은 삼각형의 최소 각이 45°이하이다. 이 그림들에서 태그가 삼각형 내부에 존재하더라도 리더의 위치에 따라 오차 범위가 달라진다는 것을 알 수 있다.

그림 4에서 보여지는 오차들은 삼각형이 가지는 최소 예각에 따라 달라진다. 극단적으로 리더가 일직선에 가깝게 배치되면 3.1에서 제기되는 문제도 동시에 발생한다.

3.3 접근 방법

3.1, 3.2에서 제기된 문제들의 원인은 태그와 리더들의 위치이다. 그러나 태그의 위치를 모르는 상태에서 태그의 위치를 고려할 수 없다. 따라서 고정 리더의 위치와 이동형 리더의 위치 정보를 이용해야 한다.

먼저 리더들이 이루는 다각형 내부에 태그가 존재하기 위해서는 다각형을 최대한 넓혀야 한다. 지역 전체를 리더로 둘러싸면 이 문제는 해결된다. 하지만 RTLS가 동작하는 환경이 리더 설치에 제약사항이 많은 경우 다른 방안을 모색해야 한다.

3.2에서 제기된 문제는 다각형의 최소 각을 최대한 크게 만드는 방법을 통해 해결할 수 있다. 이 방법을 적용하여 최소 각이 일정 수치 이상일 때 위치 측정을 시도한다.

이 문제점들은 convex hull[1] 알고리즘의 구현을 통해 해결한다.

4. 개선된 위치 측정 기법

4.1 고정 리더와 이동형 리더 선택

태그의 위치를 측정하기 위해서는 3개 이상의 리더로부터 거리를 측정해야 한다. 태그로부터 블링크 신호를 동시에 받은 리더가 4개 이상이면 일정수의 리더를 선택하거나, 모든 리더가 거리를 측정한다. 그리고 메시지 전달을 위해 고정 리더를 적어도 1개 이상 선택해야 한다.

위치 측정 정확도 측면에서는 모든 리더가 거리를 측정하는 것이 좋다. 그러나 거리 측정, 이동형 리더의 메시지 전달 등에 RF 신호를 사용하기 때문에 신호가 충돌할 확률이 높다.

일정수의 리더를 선택할 때는 3장에서 언급한 문제를 피하기 위해 convex hull 알고리즘을 사용한다. 그리고 이동형 리더는 유선 통신을 하지 않기 때문에 convex hull 알고리즘의 결과로 고정 리더가 반드시 1개 이상 포함되어야 한다.

4.2 개선된 위치 측정 알고리즘

기존의 위치 측정 알고리즘은 단순히 리더의 위치와 거리 값을 사용한다. 본 논문에서는 이동형 리더들을 선택하는 알고리즘을 추가하여 기존 시스템의 성능을 개선한다. 엔진의 동작은 다음과 같다.

1. 태그의 신호를 받은 리더들이 후보가 된다.
 - 1.1 이동형 리더는 고정형 리더를 이용하여 태그 수신정보와 자신의 위치를 전송한다.
2. 후보 리더의 개수가 4개 이상이면
 - 2.1 후보가 되는 리더 중, 고정된 리더를 하나 선택한다 - 엔진에게 정보를 전달할 리더
 - 2.2 다른 리더들의 위치좌표를 convex hull algorithm을 수행한다.
 - 2.3 결과로 나온 리더 셋에 선택한 고정 리더를 추가한다.
3. 후보 리더의 개수가 3개이면
 - 3.1 최소 각을 체크하고 일정 수치 이상이면 위치 측정을 시도한다.
4. 후보 리더의 개수가 2개 이하이면
 - 4.1 위치를 측정할 수 없다.

5. 실험

5.1 실험 설정

위치 측정 기법은 least squares를 응용한 삼각측량법을 사용한다[3,4]. 거리값은 IEEE 802.15.4a CSS PHY를 이용한 측정 값을 사용하여 시뮬레이션 하였다[2]. 거리값의 단위는 항상 센티미터(cm)이다.

5.2 문제 현상 분석 실험

먼저 간단한 시뮬레이션을 통해 3장에서 제기된 두 가지 문제를 분석하고 실제로 구현된 RTLS를 동작시켜 성능을 판단한다.

먼저 3.1장에서 언급한 문제를 시뮬레이션 한다. 리더 1, 2, 3을 각각 (500, 0), (0, 800), (1000, 800)에 배치한다. 태그의 위치를 (500, y)로 설정하고 y=0에서 시작한다. 그리고 y값을 변경하면서 100번씩 실험한다. 이때 거리 값의 오차는 0~200 사이의 임의의 값을 더한다. 오차 범위는 정규분포를 따른다. 그림 5는 태그의 y 좌

표의 변화에 따른 위치 오차를 나타낸다. y가 0일 때는 리더 1과 같은 위치에 있을 때이다. 위치오차가 평균적으로 작은 위치는 태그가 (500, 400)에 위치할 때, 즉 리더들의 중심에 있을 때이다. (500, 800)의 위치를 시작으로 위치 오차는 계속 증가한다.

다음으로, 3.2장에서 다른 리더의 위치에 따른 위치 오차를 시뮬레이션했다. 태그의 위치를 (500, 400)에 고정한다. 그리고 리더1, 2, 3의 위치를 각각 (x, 0), (0, 800), (1000, 800)에 배치한다. 거리 값의 오차는 위와 같다.

그림 6은 리더 1의 x 좌표의 변화에 따른 위치 오차를 나타낸다. x가 500일 때는 태그가 리더들의 중앙에 배치되는 모습이 된다. 리더1의 위치가 한 방향으로 계속 이동함에 따라 위치 오차의 평균도 일정하게 증가한다.

5.3 Convex Hull을 적용한 위치 측정 성능 평가

그림 7과 같이 고정 리더 4개는 설치 지역 20000cm × 20000cm의 모서리에 배치하고 이동형 리더 8개를 임의의 위치에 배치한다. 그리고 태그를 격자 형태로 나누어 총 25 곳에 배치한 후, 위치 오차를 비교실험하였다. 태그의 위치에 따라 태그의 신호를 수신하는 후보 리더들의 리스트들은 각각 다르다. 그림 10은 태그의 위치에 따라 달라지는 후보 리더들의 개수의 변화를 나타낸다.

먼저 가장 좋은 위치 측정 성능을 나타내도록 모든 후보리더들에게 거리를 측정하도록 하여 위치 오차 값들을 추출하였다. 그리고 후보 리더 중 임의의 3개를 선

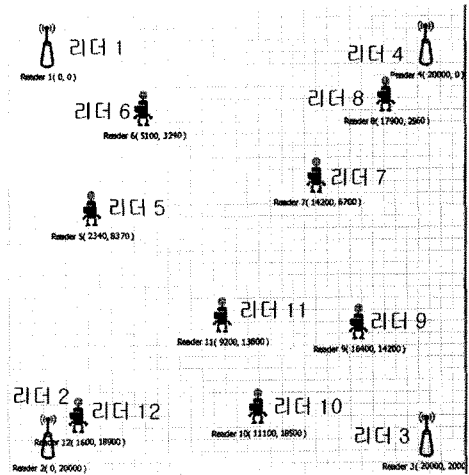


그림 7 리더의 배치

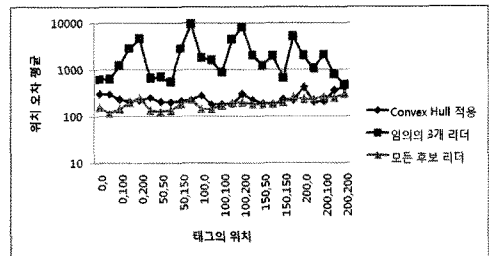


그림 8 위치 오차 평균 비교

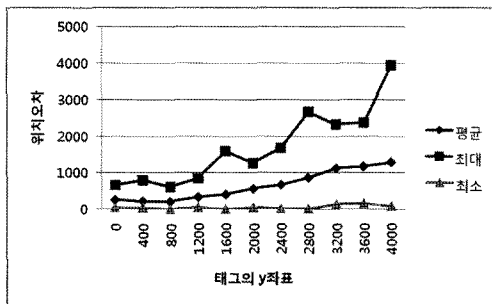


그림 5 태그 위치에 따른 위치오차

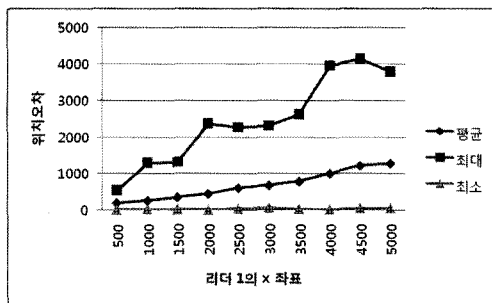


그림 6 리더1의 위치에 따른 위치오차

택할 때의 위치 오차를 구하고, convex hull 알고리즘을 적용시켜 리더들을 선택할 때의 위치 오차를 구하여 비교하였다.

그림 8을 보면 모든 후보리더를 선택하였을 경우와 convex hull 알고리즘을 적용시켜 후보리더를 선택하였을 경우의 평균 오차 값들이 유사하게 나타난다. 임의의 3개를 선택하는 경우는 리더 1, 5, 12 또는 4, 7, 8 등 예각의 크기가 극히 작을 때에 오차가 크게 발생한다.

그림 9에서는 각 알고리즘에 대한 표준편차 값을 나타낸다. 편차가 클수록 측정된 태그의 위치가 많이 흔들

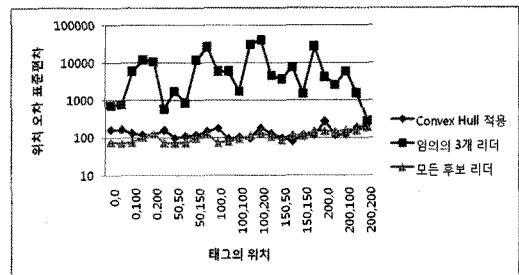


그림 9 위치 오차 표준 편차 비교

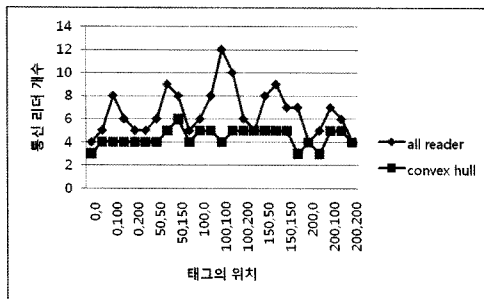


그림 10 선택되는 리더 개수

린다는 것을 의미한다. 위치를 측정하기 위해 모든 후보 리더를 사용할 때의 편차와 convex hull을 사용할 때의 편차가 유사하게 나타난다.

5.4 Convex Hull 을 적용한 통신량

거리를 측정하고, 태그와 이동형 리더 사이의 통신 등에 RF가 사용된다. 통신이 잦아지고 거리를 측정하는데 많은 RF를 사용하게 될수록 충돌할 확률이 높아진다. Convex hull을 사용하여 위치 측정 정확도를 유지하면서, 통신 횟수를 줄이는 효과도 얻을 수 있었다.

동작 리더 수는 통신의 안정성에 영향을 미친다. 그림 10은 그림 7과 같이 배치된 지역에서 Convex hull을 통해 선택되는 리더의 수를 보여준다. 대부분 4개 또는 5개의 리더를 선택하고 있다.

6. 결론

가장 정밀한 위치 측정 방법은 모든 리더들로부터 거리 값을 측정하는 것이다. 그러나, 모든 리더들을 선택하는 것은 RF 충돌의 확률을 높이고, 이동형 리더의 잦은 RF 통신은 많은 에너지를 소모한다. 그래서 위치 측정 정확도를 유지하면서 일부 리더만을 선택할 필요가 있다.

본 논문에서는 RTLS의 위치 측정 기법인 삼각측량법의 두 가지 문제점을 언급하고 원인을 분석하였다. 리더들이 이루는 다각형 내부에 태그가 존재할 확률을 높이고, 다각형의 내각 중 최소 각을 최대로 만들기 위해 convex hull을 이용하는 것을 제안한다.

이동형 리더를 고르게 분포한 환경에서 작은 수의 리더들로 위치를 측정할 수 있었다. 이는 잠재적으로 발생하는 RF 신호의 충돌을 방지하는 효과, 이동형 리더의 에너지 효율의 향상 등의 이득이 있다.

참고 문헌

[1] Ronald L. Graham and F. Frances Yao, "Finding the convex hull of a simple polygon," *Proc. of Journal of Algorithms*, vol.4, pp.324-331, 1984.
 [2] Sanghyun Son, Yeonsu Jung, Hoon Choi, Yunju

Beak, "Design and Implementation of Real Time Localization System on IEEE 802.15.4a CSS PHY," *Proc. of Korea Computer Congress*, 2008.

[3] Saipradeep Venkatraman, James Caffery, and Heung-Ryeol You, "Location using LOS range estimation in NLOS environments," *Proc. of IEEE Vehicular Technology Society Spring Vehicular Technology Conference 2002*, vol.2, pp.856-860, 2002.
 [4] James Caffery, "A New Approach to the Geometry of TOA Location," *Proc. of IEEE Vehicular Technology Society Fall Vehicular Technology Conference 2000*, pp.1943-1949, 2000.