

| | |
|--------------|---|
| Title | A Study on Indoor Positioning System Using ID Modulated LED Tube Lights |
| Author(s) | Li, Chang |
| Citation | 大阪大学, 2012, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/24540 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

| | |
|------------|--|
| 氏名 | リ ^{チャン} CHANG (李 昶) |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士 (工学) |
| 学位記番号 | 第 25689 号 |
| 学位授与年月日 | 平成24年9月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム創成専攻 |
| 学位論文名 | A Study on Indoor Positioning System Using ID Modulated LED Tube Lights (ID変調LED照明管による屋内位置計測システムに関する研究) |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 佐藤 宏介 (副査) 教授 飯國 洋二 教授 石黒 浩 |

論文内容の要旨

In recent years, stepping with the popularization of smart phone and the development of mobile communication infrastructure, the conditions for ubiquitous computing society become more and more complete. In the vision of ubiquitous computing society, LBS (Location Based Service) that provides an added value to an unprecedented user experience has been paid a great deal of attention by mobile operators all over the world. As the core technology for LBS, various positioning systems have been studied extensively. For the outdoor environment GPS is mature and common. However, the performance of GPS in indoor environment is bad. Moreover, currently there is no technique whose accuracy and cost are appropriate for deployment in huge areas.

This thesis presents a novel camera-based information transmission system for indoor positioning and navigation. This system, which avoids the use of any expensive equipment, is of particular benefit for infrastructure consumption and is completely portable using a hand-held terminal like smart phone. The high-intensity LED tube light, which is becoming the main illumination device due to its lower power cost and longer lifetime, is employed as optical beacon in this system. LED tubes are modulated to transmit ID information, which can be received by the camera equipped on smart phone. With the captured images of LED tubes which include the ID information, the smart phone can query a database to obtain the current position and orientation via mobile communication. The ID information embedded in LED tube lights has no harm at the illumination function. The proposed system, which is with fairly low cost and high accuracy both about orientation and position, can be expected to be feasible for deployment in large indoor environment.

In Chapter 3, the basic structure of proposed system is studied. The contents include the method of producing information from modulation LED tubes and the processing of ID recognition and positioning. Experiments are conducted to investigate the recognition rate, positioning accuracy and the performance of employing Kalman filter.

In Chapter 4, we try to expend this system to the cameras with different kinds of exposure time. The recognition method in Chapter 3 has a limit that the exposure time should be set very short (~2ms). We present a method to overcome this limit by using motion blur. Specifically, the user shakes the camera at a proper direction while the exposure time, so that the position of LED tubes changes on the captured image to express a streaked pattern which looks like the bar-code. The streaked pattern can be exploited for ID recognition.

Results of experiment showed that this method is easy to operate for untrained users and can yield a good recognition rate.

In Chapter 5, the method how to ensure correct ID correspondences between physical spaces and virtual maps is studied. The correct correspondences are the precondition of providing correct position information. We proposed a pedestrian model which uses the constraint of walking speed to evaluate the possibility that the ID correspondence is correct or not. By using the proposed model, the incorrect ID correspondences could be fined out from the usage records of users and modified. Simulation experiments show that the incorrect correspondences can be modified when there are enough records.

Besides, Chapter 1 gives a belief introduction of the background and motivation; Chapter 2 is the overview of current positioning techniques for indoor environment; Chapter 6 is the conclusion of this thesis.

論文審査の結果の要旨

本論文は、ユーザの位置情報の取得が基本的な要素技術となっているユビキタスコンピューティング分野の位置情報サービスにおいて、既存施設の蛍光灯照明設備インフラに初めて着目し、蛍光灯を特殊な符合を埋め込んだLED照明管を交換するだけで設置が完了し、かつ高精度な位置情報を取得できる画像パターン計測のシステム構成論とその位置情報のデータ管理法について独自の議論を行い、精度と作業誤りの両方に対して高信頼性化する手法を含めて、提案と確認実験を包括的に研究した結果を述べたものである。

LED照明管に整列配置されている各LED素子を、通常照明では交流電源の全波で点灯するのに対して、LED 2個ペアを上半波または下半波のいずれかのみで点灯するような整流素子を組み込み、時間平均照明量、空間平均照明量を変動させることなく、瞬時的にLEDの点灯・消灯パターンを発生させ、人間には不可視ではあるが、ユーザ端末の内蔵カメラには検知可能なマンチェスタコードに基づく一次元パターン列を呈示可能な基本構成を提案している。一次元バーコードのように、このLED一次元パターン列には任意ビットパターンを埋め込むことができ、誤り訂正符号を含めて高信頼度に照明管の固有なIDを符番し、それをユーザ端末が取得できるようになっただけでなく、コンピュータビジョン工学の三次元復元問題を適用し、照明管の両端点の画像内座標から、照明管1本の場合は円周拘束三次元位置姿勢を与え、照明管2本以上では三次元位置姿勢を与えることができる。これら照明管のローカル座標系に関する三次元位置姿勢と照明管IDから、GPS等の無線ベース座標計測処理による計測精度を大きく超え、最終的に絶対座標系での三次元位置姿勢が取得まで至ることができ、GPS等の無線電波が遮蔽される人工施設内での絶対座標系での三次元位置姿勢取得の問題を解決している。ユーザが把持するユーザ端末は手の揺れによって、内蔵カメラの映るLED一次元パターン列の輝点画像に発生する動きボケ（モーションブラー）の問題に対して、輝点列の直線検出分析と誤り検出符合を組み合わせたアルゴリズムも提案し、これらアルゴリズムが試作装置の実機実験で動作が確認され、計測精度と誤りに関して詳細な分析がなされている点で優れている。

さらに、既存の蛍光灯照明設備の蛍光灯をこの提案LED照明管に交換してIDを与えた場合に、LED照明管の経年劣化による交換、清掃や模様替えによる意図しないLED照明管の付け替え作業誤りにより、IDと絶対情報を保持する中央データベースの中のレコードが整合しなくなる問題を新規に問題設定し、人間の歩行をファジィに類した手法で尤度をモデル化し、多人数の歩行の累積分布から不整合のレコードを自動修復するアルゴリズムを提案し、シミュレーション実験で実証している点は実用に即した研究として評価できる。

以上より、本論文が、従来のマーカーベース画像処理やGPS等の無線ベース座標計測処理の研究アプローチとは異なり、可視光通信の観点から実用性の高い拡張を行い、位置計測の設計論と画像計測工学、コンピュータビジョン工学の諸分野それぞれの観点に加え、ユビキタスコンピューティングの観点からも総合的に高く評価される。よって、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。