

タブレット PC を用いた AGV の自律走行制御の評価 Evaluation of autonomous run control of the AGV using the tablet PC

佐藤 裕幸[†]
Hiroyuki Sato

1. はじめに

近年スマートフォンやタブレット PC 等のモバイル端末の普及が著しく、それらに搭載されているプロセッサの性能が大きく向上している。そこで、これらモバイル端末を組込分野に適用すべく、工場等で部品を搬送する無人搬送車 (AGV: Automated Guided Vehicle) にタブレット PC を搭載し、通路の撮像を画像処理することによって、自律走行するシステムの研究開発を行ってきた。

従来 AGV の走行方法は、地面に軌線となる磁気テープなどを貼り付けて、それを読み取ることによって走行していたため、工場内の経路変更に伴いガイドの貼り直しが必要であった。我々のシステムでは、タブレット PC に搭載されたカメラで前方を一定間隔で撮影し、画像処理により通路端を検出して、それに沿って AGV の走行を制御する。

本システムでは、床面のノイズや通路端の凸凹にも対応した改良を行うことで、長さ 100m、幅 5m の走行路を完走することができた[1]。今回、その改良の定量的な評価を行ったので、報告する。

2. システム概要

2.1 基本的な走行制御処理の流れ

AGV の走行制御のための基本的な処理の流れを以下に示す。またその大学構内での処理例を図 1 に示す。

- タブレット PC のカメラで前方を撮影する。
- 縦横両方で比較する Sobel フィルタにより、エッジ検出を行う。
- 画面の最も下のエッジを取り出すことにより、通路面と壁や棚などの境界部分を抽出する。
- 抽出した境界部分の点群に近似した直線 (通路端線) を左右それぞれで算出する。
- 算出した左右の通路端線の交点と画像左右の中央との関係から、前者が左であれば右旋回し、その逆であれば左旋回するよう AGV に走行指示を出す。

2.1.1 走行状況と課題

以上の制御方式で、大学構内通路での走行に成功したので、実際に走行する工場内の走行路 (長さ 100m、幅 5m) で検証を行った。その結果、通路端を正確に取れない場合

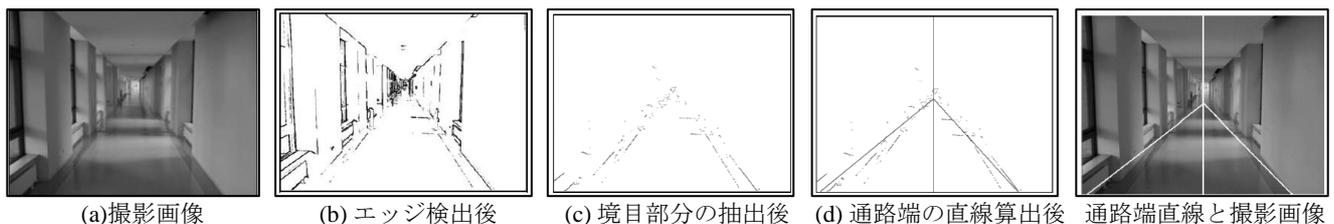


図 1 大学構内での処理例

が多く、大きく蛇行するという問題があり、平均 10m の走行距離となった。その原因を調査した結果、通路面の汚れや、色ムラ、現行 AGV の磁気テープなど走行路面にノイズがあったり、通路端が凸凹していると正しく走行指示が出せていないことが分かった。

2.2 走行精度向上のための改良

2.2.1 ノイズ除去

通路面と壁や棚などの境界部分の抽出では、画像の最下部から見て最初にエッジに到達する点群を抽出している。従って、通路面上にノイズが存在すると、正しく境界部分が抽出されず、AGV の動作に支障をきたす。なお、このノイズとは、通路面上の汚れや現行 AGV の磁気テープから得られるエッジを指している。

ノイズ除去の方法として、画像にマスクをかける事が考えられるが、走行通路の幅も様々ですべての道幅に合うマスクを作り、その都度どのマスクを使うか判断する必要がある。また、エッジ検出をする際の閾値の値を変更することでノイズ除去を行うという方法もある。しかし、現行 AGV の磁気テープのエッジが強く、閾値を上げて除去すると肝心の境界部分のエッジも除去されてしまう。

工場内のエッジ検出後の画像の特徴として、通路面上は磁気テープの線状の強いエッジは有るものの、その他のエッジは少ない。一方、壁や境界部分は物が多く存在する為、エッジも多く存在している。そこで、エッジ検出後の画像を縦横に分割して、それぞれの領域でエッジの含有率が閾値を超えていなければ領域内の全てのエッジを削除することで、ノイズを除去する。図 2 にノイズ除去の例を示す。

2.2.2 誤った境界部分の除去

照明などの影響で影が生じエッジ検出で走行路と壁の境

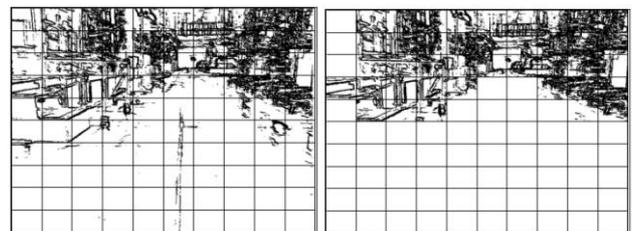
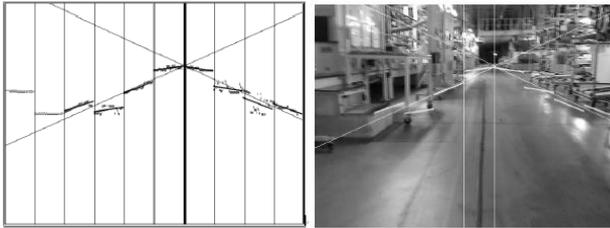


図 2 通路面のノイズ除去例

[†] 岩手県立大学 Iwate prefectural Univ.



部分境界線 部分境界線と撮影画像

図 3 誤った境界部分の除去例

目を正確に検出できない部分があったり、通路端が凸凹していたり、通路面ノイズを除去しきれない場合がある。そこで、画面を横方向に複数の領域に分割し、それぞれの領域で境界部分の点群に近似した直線（部分通路端線）を算出し、各部分通路端線が他の部分通路端線と特徴が異なる場合にはその領域の境界部分は誤っていると判断して境界点群を消去し、残った境界点群で左右の通路端線を生成するようにした。この誤っていると判断手順は以下の通りである。

- (A) まず、各分割点について、その左右の部分通路端線のそれぞれの中点の縦座標が両端に向かってだんだん下になっている部分通路端線の数をカウントし、最もカウント値が大きい分割点を通路の中央とする。
- (B) 次に、その通路の中央の左の部分通路端線が右下がり、右の部分通路端線が左下がりの部分通路端線は誤っていると判断する。
- (C) 残った左右の適合部分通路端線の高さ（画面左端との交点）の平均を左右でとり、その平均より一定量離れた部分通路端線を誤っていると判断する。
- (D) 残った左右の適合部分通路端線の傾きの平均を左右それぞれでとり、その平均より一定量離れた部分通路端線を誤っていると判断する。

図 3 に例を示すが、左の 2 つの領域の部分通路端線が他の領域の部分通路端線とは特徴が異なっているので、境界点群が削除されている。

3. 評価実験

以上の改良を施して、前節と同じ環境で走行させたところ、100m の走行路を完走することができ、改良前の平均 10m の走行距離に比べてかなりの改善が見られた。テストコースでの検証により、改良を加えた事による効果がある事がわかった。そこで、ノイズ除去と誤った境界部分の除去がどのくらい AGV の安定走行に効果があったかを定量的に評価した。

評価方法は、工場内の直線路でタブレット PC を設置した AGV を走行路（通路の左側）上で手押しし、前方の画像を 1 秒間隔で撮影する。この撮影の際は、走行方向が常に一定になるように、AGV を走行目的地点に向けて真っすぐに進める。今回実験では、108 枚の画像を撮影した。そして、この 108 枚の各画像を基に、以下の 6 種類の走行制御方式を用いて、毎秒の走行方向を算出して、理想的な走行方向との差（画面上のピクセル数）を得る。

- (1) ノイズ除去と誤った境界部分の除去を行った方式（改良方式）
- (2) 何もしない方式（改良前の方式）
- (3) ノイズ除去のみを行った方式
- (4) 誤った境界部分の除去のみを行った方式

表 1 計測結果

方式	理想値との差(ピクセル)			処理時間 (ミリ秒)
	平均	最大	分散	
(1)	19.60	68	201	252
(2)	99.08	323	14,429	213
(3)	47.77	323	6,596	251
(4)	37.27	291	2,434	213
(5)	22.92	69	181	131
(6)	23.39	71	196	131

- (5) ノイズ除去の代わりに床面にマスク処理を施した方式
- (6) ノイズ除去の代わりに床面にマスク処理を施して誤った境界部分の除去を行った方式

表 1 に計測結果を示す。

制御方式により算出された走行方向と理想値との差（誤差）は、(1)の改良方式が最も良いことが分かる。(2)の改良前と比較すると、平均誤差は 20%に低減し、最大誤差は 21%、分散（走行方向のばらつき）は 1.4%となっており、本提案の改良が非常に効果があったことが分かる。

次に、それぞれの改良の効果だが、(3)の方が(4)より良いので、ノイズ除去による効果の方が高いと言える。しかし、両方の改良を適用した(1)の場合に比べると、かなり精度が落ちており、両者の相乗効果が高いことが分かる。

(5)(6)の結果から、床面のノイズ除去をマスク処理で行うことによる効果は、かなり高いことが分かった。特に分散が小さいのは、マスクの境界がほぼ通路端に近い場所になっているため、通路端検出に大きな失敗がないからである。今回の実験はほぼ直線路で行ったので上手くいったが、緩やかなカーブがあると、マスクにより通路端が消えてしまう危険性はある。

処理時間に関しては、改良前から 40 ミリ秒ほど増えているが、250 ミリ秒程度となっており、1 秒ごとの走行制御には全く支障がない時間である。また、増分の 40 ミリ秒は、(2)と(3)の比較から、ほとんどがノイズ除去によるものであることが分かる。なお、床面にマスクを掛けると処理時間が短くなるのは、マスク内はエッジ検出をしないので、エッジ検出の領域が少なくなったからである。

4. おわりに

製造工場で利用される AGV にタブレット PC を搭載して画像処理によって自律走行制御を行うシステムにおいて、通路面のノイズを除去する改良と通路端検出の精度を向上させる改良を行い、定量的な評価を行った。その結果、走行方向の平均誤差は 20%に低減し、最大誤差は 21%、走行方向のばらつきは 1.4%となり、本提案の改良が非常に効果があったことが分かった。処理時間に関しても、改良前から 40 ミリ秒ほど増えているが、250 ミリ秒程度となっており、1 秒ごとの走行制御には全く支障がない時間である。

今回は、比較的広い走行路で安定して走行できることを確認したが、今後は、狭い通路での走行や広い走行路でも端を走行できるよう改良を進める必要があると考えている。

参考文献

- [1] ブリーグ・アナラ, 萩庭篤史, 佐藤裕幸, “タブレット PC を用いた AGV の自律走行制御における走行精度の向上”, 信学技報, Vol.113, No.433, ITS2013-46, pp.93-98, 2014.