



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS



VITOR VIEIRA RIELLI

**ANÁLISE DE MELHORIA DE UM SISTEMA DINÂMICO
DE CONTROLE BIDIRECIONAL DE VEÍCULOS
GUIADOS AUTOMATICAMENTE DE MODO A EVITAR
COLISÕES**

Limeira
2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS



VITOR VIEIRA RIELLI

ANÁLISE DE MELHORIA DE UM SISTEMA DINÂMICO DE CONTROLE BIDIRECIONAL DE VEÍCULOS GUIADOS AUTOMATICAMENTE DE MODO A EVITAR COLISÕES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Manufatura à Faculdade
de Ciências Aplicadas da Universidade
Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Lucas da Silva

Limeira
2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA PROF. DR. DANIEL JOSEPH HOGAN DA
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS

R444a	Rielli, Vitor Vieira Análise de melhoria de um sistema dinâmico de controle bidirecional de veículos guiados automaticamente de modo a evitar colisões / Vitor Vieira Rielli. - Limeira, SP: [s.n.], 2014. 22 f. Orientador: Alessandro Lucas da Silva. Monografia (Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas. 1. Automatização industrial. 2. Engenharia de manufatura. 3. Triangulação. I. Silva, Alessandro Lucas da. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.
-------	--

Título em inglês: An improvement analysis of a dynamic system to control bidirectional automated guided vehicles in order to avoid collisions.

Keywords: - Industrial automation;

- Manufacturing engineering;

- Triangulation.

Titulação: Bacharel em Engenharia de Manufatura.

Banca Examinadora: Prof. Dr. Alessandro Lucas da Silva.
Prof. Dr. Rodrigo Fernando Galzerano Baldo.

Data da defesa: 19/11/2014.

Autor: VITOR VIEIRA RIELLI

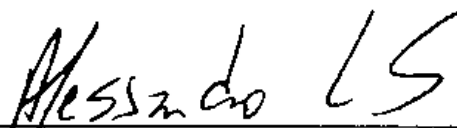
Título: Análise de melhoria de um sistema dinâmico de controle bidirecional de veículos guiados automaticamente de modo a evitar colisões.

Natureza: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Manufatura

Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas

Aprovado em: 19/11/2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alessandro Lucas da Silva (Orientador)
Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP)



Prof. Dr. Rodrigo Fernando Galzerano Baldo (Avaliador)
Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP)

Esse exemplar corresponde à versão final da monografia aprovada



Prof. Dr. Alessandro Lucas da Silva (Orientador)

Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP)

RIELLI, Vitor V. Análise de melhoria de um sistema dinâmico de controle bidirecional de veículos guiados automaticamente de modo a evitar colisões. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Manufatura) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

RESUMO

Veículos guiados automaticamente aumentam eficiência e reduzem custos por meio da facilitação da automação de instalações de manufatura ou depósito de produtos. Um veículo guiado automaticamente não requer um condutor e move-se ao longo de uma rede dentro de um mesmo chão industrial e de forma coordenada. Devido ao aspecto randômico de demanda durante a operação do sistema de VGAs, é necessária a disponibilidade de um método efetivo de seleção e distribuição de tarefas para os veículos disponíveis. Existem duas categorias principais que podem ser usadas para determinar um sistema de caminhos guia convencionais, sendo: sistemas unidirecionais e bidirecionais. Além disso, deve haver um sistema de bloqueio ou um controle de anti colisão veicular que pode estar localizado tanto ao longo do trajeto quando *onboard* no veículo. Tais métodos para evitar colisão tem a função de impedir que um VGA bata em outro veículo que esteja no mesmo caminho ou que irá cruzar seu trajeto em uma conjunção. Finalmente, serão mostrados alguns pontos que ainda devem ser melhorados a fim de prover uma melhoria completa do sistema proposto por Egbelu e Tanchoco. Dessa forma, uma ampla compreensão sobre veículos guiados automaticamente será disponibilizada, assim como sua importância e componentes que são parte de um sistema VGA como tipos de mobilidade direcional, posicionamento do veículo e métodos para evitar colisões.

Palavras-chave: 1. Automação industrial 2. Engenharia de manufatura. 3. Triangulação

RIELLI, Vitor V. An improvement analysis of a dynamic system to control bidirectional automated guided vehicles in order to avoid collisions. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Manufatura) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ABSTRACT

Automated Guided Vehicles increase efficiency and reduce costs by facilitating automation of a manufacturing facility or warehouse. An automated guided vehicle does not require a driver and it moves along a network within the same manufacturing floor and they are coordinated. Since the demands during the operation of a system of AGVs occur randomly, it is necessary the availability of an effective method to select them and assign them to available vehicles. It exists two main categories that can be used to determine a conventional guide path system that are: the unidirectional and bidirectional systems. Besides, there is a blocking system or vehicle anti-collision controls that can either be along the guide path or onboard the vehicle. These methods to avoid collision have the function to avoid an AGV to hit another vehicle that is on the same path or that will cross its way in a conjunction. Finally, it will be showed some points that still have to be improved in order to provide a fully improvement of the automatic system proposed by Egbelu and Tanchoco. Thus, a wide understanding about automated guided vehicle will be provided and its importance while presenting components that are part of an AGV system such as types of directional mobility, vehicle positioning and methods to avoid collision.

Keywords: 1. Industrial automation 2. Manufacturing engineering 3. Triangulation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	11
Figura 2	11
Figura 3	14
Figura 4	15

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VGA – Veículo guiado automaticamente

SVGA – Sistema de veículos guiados automaticamente

LISTA DE SÍMBOLOS

α - nó alfa	ϕ – valor dependente da curvatura entre o nó alfa e o nó beta
β – nó beta	T' - tempo de viagem entre nós alfa e beta
$d_{\alpha,\beta}$ – distância entre nó alfa e nó beta	T - tempo para a rota do veículo ser traçada
X_{α} – posição do nó alfa no eixo x	S_V – velocidade do veículo
X_{β} - posição do nó beta no eixo x	ω – tempo extra, dependente da localização do veículo
Y_{α} - posição do nó alfa no eixo y	λ – valor dependente se o veículo está em área de carregamento ou n
Y_{β} - posição do nó beta no eixo y	
f – comprimento da rampa	
e - distância entre o ponto de verificação e o centro do nó	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Contextualização	5
1.2. Definição do Problema.....	7
1.3. Objetivos	7
2. DESENVOLVIMENTO	8
2.1. Revisão Bibliográfica Sobre Veículos Guiados Automaticamente.....	8
2.1.1. Funções gerais e utilização	8
2.1.2. Tipos de mobilidade direcional	9
2.1.3. Posicionamento do veículo	10
2.1.4. Métodos para evitar colisões (Koff e Bonldrin, 1985).....	12
2.2. Análise do sistema de controle proposto por Egbelu e Tanchoco.....	13
2.2.1. Visão geral do sistema (Egebelu e Tanchoco, 1986).....	13
2.2.2. Estudos de diferentes autores sobre o método de Egbelu e Tanchoco	16
2.2.3. Pontos a serem melhorados.....	16
2.3. Atualização do sistema de controle de VGAs baseado no método de Egbelu e Tanchoco	17
2.3.1. Integração de elementos atuais ao método	17
2.3.2. Recomendações.....	19
3. CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS	20

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O manejo de peças ou produtos manufaturados entre estações de trabalho pode ser realizado através do uso de veículos guiados automaticamente (VGAs ou Automated Guided Vehicles - AGV na língua inglesa) que são veículos não tripulados que seguem rotas guiadas orientadas no sistema de manufatura. Um computador central e um processador *on-board* são os métodos mais comuns de controle, onde a hierarquia de comando geralmente ocorre do computador até o sistema localizado no veículo, sendo monitorado por um controlador de tráfego. Essa comunicação é geralmente estabelecida por cabeamento dedicado embutido no chão ou por comunicação sem fio (*wireless*) (Kaighobadi & Kurapati, 1994). De acordo com Schulze e Wüllner (2006), depósitos, sistemas de coleta de pedidos, linhas de montagem e plantas industriais são onde geralmente as VGAs são utilizadas.

Um sistema de veículos guiados automaticamente (SVGA) pode ser traduzido como um conjunto de veículos que não requerem um condutor e que se movem em uma mesma rede dentro de um único chão de fábrica, sendo coordenados, como previamente dito, por um sistema baseado em computadores, de modo a executar devidamente uma série de trabalhos.

Quando os VGAs estão sendo utilizados, eles frequentemente voltam e estacionam em uma posição inicial pré-definida (*home position*) após completar uma tarefa, a qual pode ser estática (sempre no mesmo local) ou dinâmica (posição varia no tempo). Problemas atuais envolvem o elevado tempo de resposta, que se trata do tempo de deslocamento sem carga, entre a posição inicial e estação de coleta (Giuseppe, Guiani & Improta, 2000) e também colisões entre VGAs. Para evitar tais conflitos, o controlador de tráfego tem a função de coordenar e gerenciar eficientemente as rotas dos VGAs, assegurando que eles se movam de modo não conflituoso. Entretanto, a coordenação da rede de caminhos, rotas e cronograma de todos os VGAs presentes no sistema, pode se tornar insustentável se houver algum

problema como mau funcionamento ou prioridades novas ou iguais entre diferentes VGAs. (Oboth, Batta & Karwan, 1999).

Uma breve explicação sobre mobilidade direcional de VGAs relaciona redes unidirecionais ou bidirecionais. Se um VGA move apenas em uma direção no emaranhado de rotas, o veículo é unidirecional, enquanto em um sistema bidirecional, o VGA pode locomover-se em duas diferentes direções.

Sobre os modos de evitar conflito, existem dois métodos que são efetivos para redes unidirecionais; o primeiro trata-se de um sistema sensorial *on-board* que detecta veículos a frente, no mesmo trajeto, enquanto no segundo, o sistema inteiro é dividido em zonas, e apenas um veículo é permitido atuar em cada zona. No caso de redes bidirecionais, essas técnicas não são eficientes; por exemplo, para o método de controle por zonas, o sistema inteiro poderia ficar preso no caso de condições adversas, levando a uma possível falta de suprimentos nas máquinas, prejudicando o processo produtivo (Krishnamurthy, Batta & Karwan, 1993).

No passado, era comum o uso de orientação por indução ou meios óticos de linhas de guia para VGAs, mas esses métodos apresentam a desvantagem de inflexibilidade para modificar rotas preestabelecidas e um trabalhoso processo de instalação sob ou sobre o solo. Atualmente, a necessidade de linhas de guia é um tanto incomum, onde um dos mais difundidos métodos é através do uso de laser.

A demanda durante a operação de um sistema de VGAs ocorre randomicamente e por causa disso, é necessária a disponibilidade de um método efetivo de seleção de tais demandas e atribuição de prioridades para os veículos existentes. Depois disso, as rotas devem ser definidas sem conflito entre elas, indo do ponto onde o material será coletado até o ponto de entrega. Quando a tarefa é completada, cada veículo vazio deve ser imediatamente direcionado para uma próxima demanda; se isso não for possível, eles devem ser posicionados em um local onde não atrapalhem as outras rotas. A definição dessas áreas deve ser bem planejada, onde deve ser possível a utilização do tempo parado para recarga da bateria do veículo, ou abastecimento, assim como manutenção e reorganização do sistema automático de transporte (Maza & Castagna, 2005).

O modelo discutido nessa pesquisa é baseado em um dos primeiros artigos onde fora apresentado um sistema de orientação de fluxo de tráfego bidirecional de VGAs, usando técnicas de simulação quem visem o aumento da produtividade. Egbelu e Tanchoco são os autores desse modelo.

Redução em trabalho e custos derivados do processo produtivo, o aumento em produtividade e flexibilidade e interação automática com importantes sistemas no processo de manufatura são alguns dos benefícios obtidos através do uso de VGAs. Essa otimização também leva a uma total rastreabilidade do fluxo de material através do sistema, representando uma contribuição essencial para resolver problemas quando um defeito surge tardiamente no processo.

1.2. Definição do Problema

O impacto da falta de material em um processo gargalo pode ser desastroso para o sistema produtivo, ocasionando atrasos e ameaçando todos os processos dependentes, reduzindo eficiência de saída de produtos feitos, aumentando custos e desperdiçando tempo. A fim de evitar problemas similares, é essencial o funcionamento acurado do sistema de veículos guiados automaticamente, sem casos de conflito de rota ou colisões entre VGAs. Essa pesquisa lida o caso de sistemas dinâmicos e bidirecionais, procurando melhorias no modelo de controle proposto por Egbelu e Tanchoco (1986) que pode ser remodelado usando novas ferramentas e considerando avanços tecnológicos existentes para o campo de VGAs.

1.3. Objetivos

O foco principal dessa pesquisa é direcionado a sistemas de veículos guiados automaticamente cujos veículos movem-se em duas direções e são controlados dinamicamente no chão industrial e também apresenta uma variedade de fatores a

serem considerados para o desenvolvimento de um eficiente método de controle. Os principais objetivos são:

1) Estudo geral da utilização, tipos de sistema de navegação e operação de VGAs.

a. Proporcionará uma revisão dos conhecimentos disponíveis sobre o tópico discutido nessa pesquisa, tal objetivo será realizado pela explanação de algumas funções e comparação entre métodos usuais de orientação e controle de VGAs.

b. Esse item ajudará o leitor a compreender princípios e termos técnicos que podem surgir durante a restante do artigo.

2) Análise do método proposto por Egbelu e Tanchoco para planejar e rastrear rotas de sistemas bidirecionais, enquanto uma melhoria e atualização é proposta sobre o modelo a fim de operar o SVGA de modo não conflituoso.

a. Trata-se do objetivo principal da pesquisa e compõe o corpo principal do desenvolvimento.

b. Uma investigação sobre o modelo será feita e ajustes para atualização e melhoria serão propostos. Esse modelo costumava ser eficiente no passado e essa pesquisa tem a intenção de fazê-lo eficiente em contextos presentes também.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Revisão Bibliográfica Sobre Veículos Guiados Automaticamente

2.1.1. Funções gerais e utilização

Sistemas internos de transporte baseados em veículos guiados automaticamente (VGAs) são comumente usados em instalações como plantas manufatureiras, depósitos de estoque ou almoxarifado, centros de distribuição e terminais de transporte. Eles são referidos como sistemas de VGA que são

essenciais para várias operações de manufatura de baixo ou médio volume, incluindo sistemas de manufatura flexível (SMF) e para negócios relacionados à serviços, onde eles são usado para movimentação dos mais variados tipos, desde correio, roupas em lavanderia e refeições hospitalares (Ganesharajah, Hall and Sriskandarajah, 1998).

VGAs são veículos sem motorista alimentados por bateria, controlados centralmente por computador e endereçados de forma autônoma. Largos corredores, orientação ótica ou magnética são os possíveis meio para moção de VGA. Ganesharajah, Hall and Sriskandarajah (1998) afirmam que VGAs podem oferecer muitas vantagens se comparadas à carrinhos de empurrar, empilhadeiras ou equipamentos de manejo de materiais que sejam fixos, como pontes rolantes, pois apresentam vantagens em quesitos de flexibilidade, utilização de espaço, segurança e custo de operação geral.

A flexibilidade pode ser exemplificada no caminho de fluxo ou caminho de guia, que pode ser modificado facilmente a fim de responder a mudanças de prioridade em um sistema existente. Os VGAs pode compartilhar espaço com outros equipamentos e apenas ocupar o espaço de trabalho quando eles estão exercendo sua função em determinada área ou quando estacionados. Eles são mais seguros que outras tecnologias; quase todos os novos VGAs são equipados com luzes e buzinas, avisando trabalhadores sobre sua presença. Há também o reduzido risco de erro humano e mesmo que eles sejam um pouco mais caros que empilhadeiras e outros tipos de máquinas de manejo, o sistema de VGA pode ter seu custo pago através da redução em custos de operação unitários.

2.1.2. Tipos de mobilidade direcional

Duas categorias podem ser usadas para determinar um caminho de guia convencional, eles são unidirecionais e bidirecionais.

A Figura 1 ilustra um sistema de caminho de guia unidirecional que é tipicamente aplicado em sistemas complexos, que possuam um elevado número de

veículos, devido a sua simplicidade em design e controle. Entretanto, a aplicação de fluxo unidirecional em um sistema simples pode não ser apropriada, pois o sistema bidirecional causa um ganho em produtividade, que pode facilmente compensar os altos custos de investimento em *software* e veículos mais especializados.

O layout apresentado na Figura 2 é baseado em mobilidade bidirecional, a qual oferece maior flexibilidade no traçado de rotas para os veículos se comparado ao sistema unidirecional. Rotas alternativas para distribuir o tráfego são facilmente encontradas para esse caso e isso pode ser usado para reduzir o tempo de viagem e aumentar o rendimento se todo o planejamento de rotas puder tirar vantagem disso.

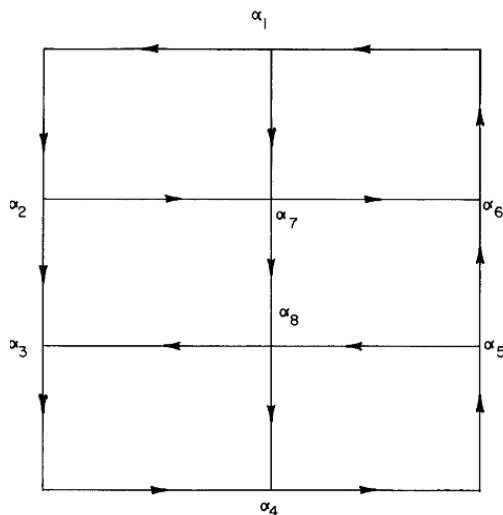


Figura 1. Um caminho de guia unidirecional para um SVGA

Fonte: Egbelu E Tanchoco, 1986.

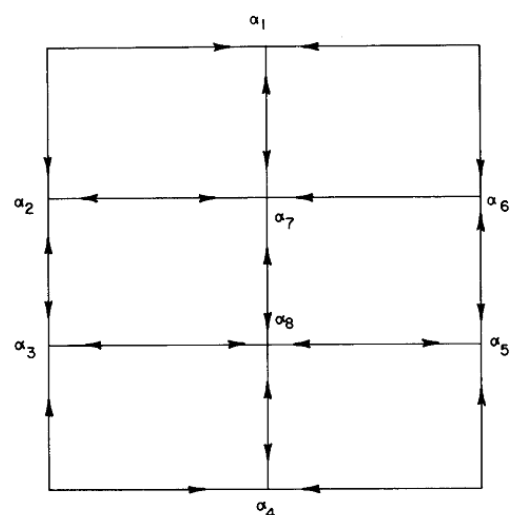


Figura 2. Um caminho de guia bidirecional para um SVGA

Fonte: Egbelu E Tanchoco, 1986.

2.1.3. Posicionamento do veículo

A transferência de material ou partes prontas, entre o ponto de coleta até o ponto de entrega, também chamado de *estações*, é definido como uma *tarefa*. De acordo com Giuseppe, Guiani & Improta, depois de ter completado a tarefa, o VGA para na posição inicial (*home position*) enquanto espera por uma nova tarefa. Esse

período ocioso do veículo é em geral inevitável e duas principais estratégias podem ser consideradas para gerenciamento disto: estratégia estática e dinâmica.

A estratégia estática de posicionamento do veículo pode ser dividida em quatro diferentes abordagens de modo a minimizar o tempo de resposta a novas requisições ou tarefas.

Na *regra de posicionamento de zona central* uma área é designada na rede para carregamento de veículos ociosos e pode ser localizada próxima a áreas muito movimentadas de carga ou em estações de abastecimento.

Na *regra de posicionamento por loop circulatório* um caminho em loop será determinado ao veículo ocioso para que ele fique se movimentando até uma nova ordem ser recebida.

Na *regra de posicionamento por ponto de descarga* o veículo permanece no ponto da última entrega até uma nova atividade ser atribuída.

A *regra de posicionamento distribuído* é muito similar à de posicionamento por zona central, contudo ao invés de apenas uma única área, nesse caso existem várias zonas ao longo de toda a rede de caminhos.

A estratégia dinâmica de posicionamento de veículos é baseada na seleção de posições iniciais que não são sempre as mesmas, isso significa que elas mudam em função do tempo e são dependentes da distância da última atividade realizada. A fim de minimizar o máximo tempo de resposta e o tempo médio de resposta, Hu e Egbelu (2000) propuseram um algoritmo que funciona em uma situação onde as demandas de coleta mudam com o tempo e de modo não uniforme. Neste método, uma atualização acurada sobre a carga de carregamentos restantes é requerida para cada estação a cada evento. Em caso de mudança da razão de cargas restantes, a problemática do veículo ocioso é solucionada novamente. Esta pesquisa por Hu e Egbelu é importante no aspecto da utilização de caminhos de guia convencionais, enquanto outros estudos focam em layouts de loop e modelos teóricos, geralmente omitindo problemas práticos os quais impõe restrições como segurança, possibilidade de mudança de veículos e a própria recarga da bateria do VGA.

2.1.4. Métodos para evitar colisões (Koff e Bonldrin, 1985)

Sistemas de bloqueio ou controles de anti-colisão podem estar dispostos tanto ao longo do caminho guia quanto *onboard* no veículo. Eles têm a função de evitar que o VGA bata em outros veículos ou obstáculo que estejam no mesmo caminho ou que irão cruzar seu caminho em uma conjunção de trajetos.

Bloqueio por zonas é o método mais comum, onde o caminho guia é dividido em zonas que podem conter somente um veículo e certa margem de segurança. O algoritmo que controla este sistema permite apenas um veículo em cada zona, restando em uma zona anterior qualquer veículo que queira entrar na zona ocupada, até que essa área esteja liberada. Esse método é baseado em uma das próximas três opções, as quais são escolhidas de acordo com o tamanho do sistema, custo e complexidade do controle de tráfego.

Bloqueio por zona “ponto-a-ponto” usa um tipo de sistema “liga/desliga”, onde o veículo a frente aciona o sistema de controle após passar por uma guarita de controle de zona, prevenindo colisões traseiras. Quando o veículo passa para a próxima zona, a área anterior é desativada e o controle de bloqueio da próxima zona é imediatamente ligado.

Em *bloqueio contínuo* cada veículo transmite um sinal através de um transmissor *onboard* de modo a avisar veículos posteriores sobre sua posição em cada zona. Quando o veículo na dianteira atinge a próxima zona, o alerta para a zona anterior desaparece, permitindo que o próximo veículo adentre tal área e então um novo alerta é estabelecido para a zona atual.

Bloqueio zoneado por computador depende de um computador central que recebe informações de cada veículo para identificar quais zonas eles estão e enviar um sinal se a zona que eles irão entrar já está ocupada. Um microprocessador localizado no veículo decodifica a informação e o veículo toma as devidas ações de bloqueio.

Confiabilidade, flexibilidade de operação e facilidade para modificar ou expandir o sistema são os principais fatores para o projeto de um sistema de

bloqueio contra colisões. O caso da seleção errônea de um sistema de bloqueio pode limitar a capacidade do sistema e assim afetar eficiência e custos operacionais.

2.2. Análise do sistema de controle proposto por Egbelu e Tanchoco

2.2.1. Visão geral do sistema (Egbelu e Tanchoco, 1986)

O sistema apresentado na Figura 2 pode também ser modelado como uma rede presente na figura 3, que é a base do sistema de Egbelu e Tanchoco. É possível ver os nós, que representam os pontos de intersecções no caminho guia e os segmentos que são corredores sendo definidos pelos nós que os delimitam. Contudo o fluxo do tráfego entre cada nó deve ser definido, pois o sistema é bidirecional. A fim de resolver essa questão, os autores nomearam cada arco ou segmento com duas letras, onde a primeira representa o ponto de origem e o segundo é o ponto de destino.

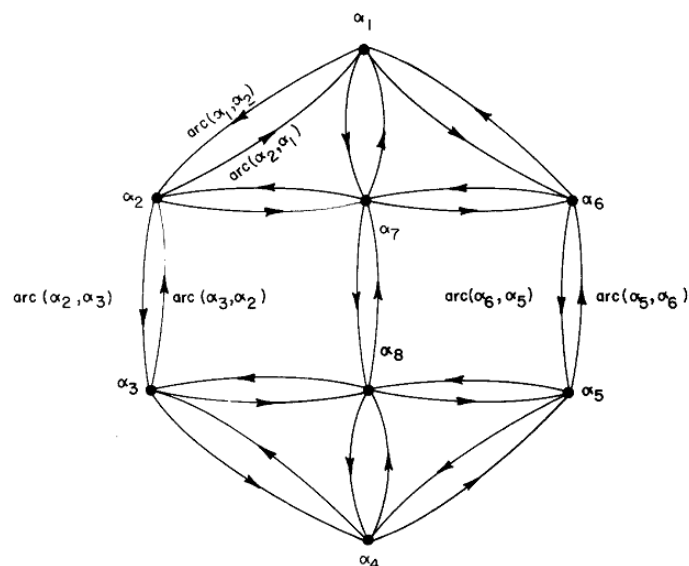


Figura 3. Caminho guia bidirecional modificado

Fonte: Egbelu E Tanchoco, 1986.

O modelo deles usa o sistema de coordenadas cartesianas, mas o eixo Z é desconsiderado.

As seguintes considerações foram feitas durante a modelagem do fluxo de tráfego:

- Arcos entram e saem apenas de nós ao longo dos eixos x e y.
- Somente arcos retilíneos e euclidianos são permitidos.
- O limite de arcos convergindo para um nós é quatro.
- Veículos fazem curvas suaves através de rampas (Figura 4).
- Há uma relação equidistante entre o ponto onde a rampa diverge de um arco e se funde com outro.
- Todos os veículos locomovem-se a mesma velocidade

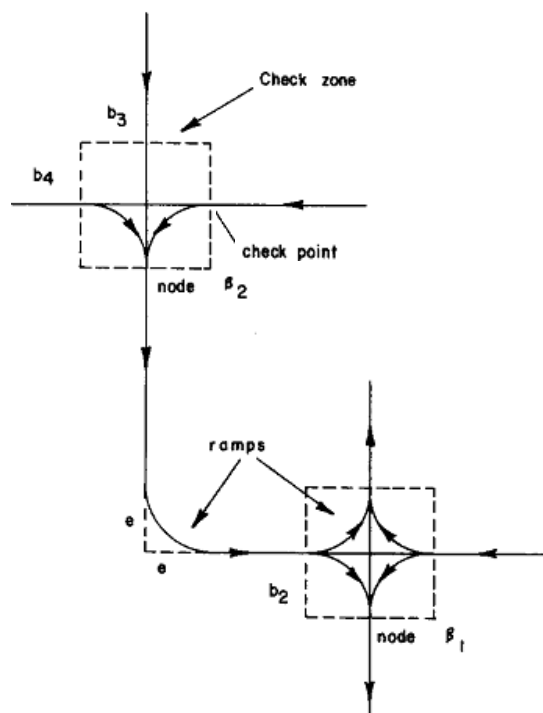


Figura 4. Uma seção de um caminho de guia ilustrando rampas (*ramps*), zonas de verificação (*check zone*) e pontos de verificação (*check points*).

Fonte: Egbelu E Tanchoco, 1986.

Os autores também introduziram o conceito de zona de verificação ou *check zone* (Figura 4), o qual acomoda apenas um veículo na região ao redor do nó, com a função de assegurar um tráfego seguro e livre de colisões. O ponto de decisão para o veículo em trânsito, como virar ou parar é citado como ponto de verificação ou *check point* e define o começo da zona de verificação.

A simulação descontínua considera que o movimento do veículo de um ponto ao outro como um salto descontínuo, o qual é função da velocidade do veículo, distância entre ponto de verificação e as condições de tráfego deste segmento a ser viajado. As condições de tráfego dependem se há outro veículo no segmento o que impediria o movimento do veículo considerado.

Supondo um arco (α, β) , a equação para a distância $(d_{\alpha, \beta})$ entre os nós seria a seguinte de acordo com Egbelu e Tanchoco (1982, 1984):

$$d_{\alpha, \beta} = \begin{cases} [(X_{\alpha} - X_{\beta})^2 + (Y_{\alpha} - Y_{\beta})^2]^{1/2} + (f - 2e)\phi, & \text{se a distância de } \alpha \text{ a } \beta \text{ é euclideana} \\ X_{\alpha} - X_{\beta} + Y_{\alpha} - Y_{\beta} + (f - 2e)(\phi + 1) & \text{se a distância de } \alpha \text{ a } \beta \text{ é retilínea} \end{cases}$$

Onde $\phi = 1$ se uma curva é necessária em α para chegar em β , ou 0 caso contrário; f = comprimento de uma rampa e e é a distância entre o ponto de verificação e o centro do nó que ele está a serviço.

A próxima equação também demonstrada por Egbelu e Tanchoco (1982) estima o tempo T' entre os nós adjacentes α e β .

$$T' = T + \frac{d_{\alpha, \beta}}{S_V} + \omega\lambda$$

Onde T é o tempo para a rota do veículo ser traçada para o arco (α, β) ; S_V representa a velocidade do veículo, ω é tempo adicional estimado requerido para mover o veículo de uma área de carregamento para o trajeto principal ou corredor e λ tem o valor de 1 se o veículo está em uma área de carregamento, caso contrário este valor será 0.

2.2.2. Estudos de diferentes autores sobre o método de Egbelu e Tanchoco

Nesta seção, estudos que analisaram de alguma forma os aspectos do método de Egbelu e Tanchoco serão apresentados, provendo maior credibilidade a tal modelo.

Mahadevan e Narendran (1990) em seu trabalho para projetar um sistema de VGA para um sistema flexível citaram a importância do trabalho posterior de Egbelu e Tanchoco no desenvolvimento do conhecimento geral para controle de fluxo bidirecional em caminhos guias. Essa informação foi considerada enquanto um método similar fora aplicado para um reduzido número de veículos o que levou a um aumento da produtividade.

Para criar um modelo de operação de veículos sem caminhos de guia físicos ou veículos guiados automaticamente com livre alcance, Gaskins, Tanchoco e Taghaboni (1989) também consideraram fluxo em ambas as direções e dados úteis sobre a potencialidade para aumentar a performance geral através do sistema proposto por Egbelu e Tanchoco.

Kim e Tanchoco (1993) levaram em consideração um aspecto diferente que fora apresentado previamente, as áreas de verificação. Eles ofereceram uma desvantagem, pois na prática, tais áreas devem ser grandes para acomodar devidamente os VGAs em cada nó ou ponto de decisão.

A última citação foi endereçada por Le-Anh e De Koster em sua revisão de planejamento e controle de VGA em 2005. Nesse artigo eles definem que a ideia principal de áreas de carregamento ou zonas de verificação em intersecções é a resolução gradual de conflitos entre rotas que estejam em uma situação de impasse.

2.2.3. Pontos a serem melhorados

Esta seção tem a função de oferecer uma variedade de itens que devem ser considerados a fim de melhorar totalmente o sistema de Egbelu e Tanchoco, entretanto nem todos esses pontos serão utilizados na seção seguinte por levaria a

uma metodologia muito complexa, que no momento, está além do escopo desta pesquisa.

- Questões de segurança quando o VGA está operando próximo a trabalhadores. (interface homem-máquina)
- Orientação por laser como um método alternativo de parar o veículo se algo imprevisto cruzar seu caminho
- Problemática da energia, relacionado ao carregamento da bateria do VGA ou abastecimento e como/quando isso ocorrerá. (Tsumura, 1994).
- Comunicação veículo-veículo por internet wireless.
- Variabilidade de velocidade de VGAs, que de acordo com Oboth, Batta e Karwan (1999) significa que a diferença de tempo quando o VGA irá ocupar dois nós adjacente depende da velocidade na qual ele está se movimentando.

2.3. Atualização do sistema de controle de VGAs baseado no método de Egbelu e Tanchoco

2.3.1. Integração de elementos atuais ao método

Essa seção envolve o processo de integração de alguns dos componentes do tópico 2.2.3. e os benefícios esperados.

O uso de laser como uma ferramenta para auxiliar a orientação tem se tornado popular nos últimos anos e pode agir como um instrumento muito importante para manter o correto funcionamento de veículos guiados automaticamente em um ambiente industrial movimentado.

Na triangulação de alvo por laser, pontos refletivos são instalados em paredes ou postes distantes aproximadamente 7 metros um do outro. Coordenadas cartesianas são definidas para cada alvo e todos os veículos recebem dados virtuais sobre a localização de cada um desses sinais. Um feixe de laser rotacional que atua como fonte e receptor é alojado no veículo e a distância e ângulo do alvo são medidos quando o laser reflete nele. O VGA pode identificar sua posição através do

processo de várias reflexões e comparação delas com as coordenadas dos alvos que foram previamente carregados no sistema. Uma comparação imediata entre a posição calculada e o caminho planejado é realizada e então as instruções de condução são determinadas (<http://www.agvsystems.com/agvs-basics/basics-agvs/>)

No caso do modelo de Egbelu e Tanchoco cada nó deveria receber um alvo refletivo para ter a função exposta anteriormente durante a triangulação a laser.

O problema da energia é outro fator que deveria ser considerado, pois é uma atividade que consome muito tempo durante o manejo de materiais com VGAs. Segundo Schulze e Wullner, o uso de transferência de energia por indução vem crescendo e nesta tecnologia um cabe energizado é localizado no chão, o qual gerará um campo magnetizado sobre ele, atuando como condutor primário, enquanto a superfície inferior do veículo tem um centro ferromagnético. A voltagem induzida entre o fio e o veículo, é usada como fonte de energia para abastecer o veículo.

Dois casos de transferência de energia podem ser utilizados, em uma primeira situação, não seria necessária bateria, pois todo o suprimento de energia viria da indução cujas instalações se situam ao longo de todo o curso; e num segundo caso, uma bateria *onboard* seria requisitada, e que poderia ser recarregada indutivamente e que tem a função de compensar qualquer interrupção energética.

Trilhos não são requeridos para orientação ou transferência de energia por meio da indução, o que reduz o risco de parte como parafusos ou pinos caírem nos trilhos.

De acordo com Schulze e Wullner em 2004, apenas 6% de todos os SVGA eram supridos por energia indutiva como uma alternativa às estações convencionais de carregamento de bateria.

2.3.2. Recomendações

Como exposto previamente, dois elementos devem ser considerados no modelo proposto por Egbelu e Tanchoco (1986), a triangulação por laser como uma ferramenta para auxiliar a orientação de VGAs e o uso de eletricidade induzida como fonte de energia, tanto com ou sem bateria extra.

Pesquisas futuras podem considerar outros elementos encontrados atualmente em ambientes industriais para fazer o método de Egbelu e Tanchoco ainda mais efetivo e atualizado. Uma lista de fatores é apresentada na seção 3.3 deste artigo.

3. CONCLUSÃO

Esta pesquisa tentou prover um amplo conhecimento sobre veículos guiados automaticamente e sua importância enquanto apresentou elementos que são parte de um sistema de VGA como tipos de mobilidade direcional, posicionamento de veículos e métodos para evitar colisões. Após isso, o método de controle proposto pelos autores Egbelu e Tanchoco foi brevemente explicado e dois elementos encontrados atualmente no cenário industrial foram considerados a fim de tornar esse sistema mais eficiente e atualizado. Esses dois elementos são sistemas que têm se tornado populares nas últimas décadas sendo que um deles trata da tecnologia a laser como uma eficaz alternativa durante a movimentação de veículos e o outro é sobre como a energia é suprida ao veículo que em tal caso é baseado na indução.

REFERÊNCIAS

- BRUNO, G., GHIANI, G., & IMPROTA, G. **Dynamic positioning of idle automated guided vehicles.** *Journal of Intelligent Manufacturing.* 2000. 11(2), p. 209-215.
- EGBELU, P. J., & TANCHOCO, J. M. A. **Potentials for bi-directional guide-path for automated guided vehicle based systems.** *International Journal of Production Research.* 1986. 24(5), p. 1075-1097.
- EGBELU, P. J. **Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to improve response time.** *European Journal of Operational Research.* 1993. 71(1), p. 32-44.
- GANESHARAJAH, T., HALL, N. G., & SRISKANDARAJAH, C. **Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems.** *Annals of Operations Research.* 1998. 76, p. 109-154.
- GASKINS, R. J., & TANCHOCO, J. M. **Flow path design for automated guided vehicle systems.** *International Journal of Production Research.* 1987. 25(5), p. 667-676.
- HU, C. H., & EGBELU, P. J. **A framework for the selection of idle vehicle home locations in an automated guided vehicle system.** *International Journal of Production Research.* 2000. 38(3), p. 543-562.
- KAIGHOBADI, M., & VENKATESH, K. **Flexible manufacturing systems: an overview.** *International Journal of Operations & Production Management.* 1994. 14(4), p. 26-49.
- KIM, K. H., & TANCHOCO, J. M. A. **Economical design of material flow paths.** *The International Journal Of Production Research.* 1993. 31(6), p. 1387-1407.
- KRISHNAMURTHY, N. N., BATTU, R., & KARWAN, M. H. **Developing conflict-free routes for automated guided vehicles.** *Operations Research.* 1993. 41(6), p. 1077-1090.

KOFF, G. A., & BOLDRIN, B. **Automated guided vehicles**. *Materials Handling Handbook, 2nd Edition*. 1985. p. 273-314.

LE-ANH, T., & DE KOSTER, M. B. M. **A review of design and control of automated guided vehicle systems**. *European Journal of Operational Research*. 2006. 171(1), p. 1-23.

MAHADEVAN, B., & NARENDRAN, T. T. **Design of an automated guided vehicle-based material handling system for a flexible manufacturing system**. *The International Journal Of Production Research*. 1990. 28(9), p. 1611-1622.

MAZA, S., & CASTAGNA, P. **A performance-based structural policy for conflict-free routing of bi-directional automated guided vehicles**. *Computers in Industry*. 2005. 56(7), p. 719-733.

OBOTH, C., BATTÀ, R., & KARWAN, M. **Dynamic conflict-free routing of automated guided vehicles**. *International Journal of Production Research*. 1999 37(9), p. 2003-2030.

Savant Automation. AGV Basics. Disponível em:

<<http://www.agvsystems.com/agvs-basics/basics-agvs/>> Acesso em: 06 maio 2014

SCHULZE, L., & WULLNER, A. **The approach of automated guided vehicle systems**. Paper presented at the Service Operations and Logistics, and Informatics, 2006. SOLI'06. IEEE International Conference.

TSUMURA, T. (1994). **AGV in Japan-recent trends of advanced research, development, and industrial applications**. In *Intelligent Robots and Systems' 94. 'Advanced Robotic Systems and the Real World', IROS'94. Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference*. 1994. Vol. 3, pp. 1477-1484.