**“Robô SRLT para inspeção de linhas de transmissão de energia”**

* Introdução

A inspeção de linhas de transmissão aéreas de alta voltagem é uma tarefa difícil, atualmente esta inspeção é realizada através do auxílio de helicópteros os quais percorrem trajetórias próximas às linhas de transmissão e utilizam câmeras termográficas as quais medem a temperatura nos cabos a partir da associação da quantidade de radiação emitida em determinada faixa de comprimento de onda com uma determinada temperatura. Porém os gastos com este tipo de inspeção são extremamente elevados, como consequência, as empresas responsáveis pela transmissão de energia não monitoram continuamente as condições dos cabos, e realizam inspeções nas linhas de transmissão em intervalos grandes. Outro modo de inspecionar as linhas de transmissão é através de eletricistas que literalmente andam sobre os cabos das linhas de transmissão de alta voltagem fazendo uma inspeção visual e podendo levar algum equipamento para medição de temperatura ao longo da linha, porém este tipo de inspeção é lenta e é inviável verificar milhares de quilômetros de linhas de transmissão utilizando este método.

Ambos os modos de inspeção de linhas de transmissão são arriscados, trazem perigos para as pessoas que estão a bordo do helicóptero; já que, este tem de voar próximo às linhas de transmissão e trazem perigos para o eletricista que irá andar sobre os cabos inspecionando-os visualmente ou com auxílio de algum equipamento, além de desconhecer-se completamente o efeito dos campos eletromagnéticos intensos desta região sobre a saúde destes eletricistas. Como consequência, realizar a inspeção de linhas de transmissão através da utilização de robôs móveis é algo que vem ganhando destaque no século XXI. Isto somente foi possível por causa dos avanços tecnológicos como sistema de localização global, os sistemas de transmissão de informação sem fio, a construção de microcontroladores mais baratos, rápidos e com maior capacidade de processamento, além dos grandes avanços que a computação e a microeletrônica têm obtido. Com isso as tarefas que seres humanos executam em ambientes insalubres, perigosos ou inóspitos poderão ser substituídas por uma mão-de-obra automatizada. Além disso, a aplicação da robótica móvel pode ser utilizada para a redução de custos. No caso específico deste trabalho, a utilização de robôs de inspeção para linhas de transmissão atende a ambos os aspectos.

Um robô de inspeção de linhas de transmissão deve ser capaz de desviar de obstáculos como grampo de suspensão, grampo terminal passante, emendas a compreensão, emenda total preformada, tentos partidos, cabos amassados e dispositivos anti-vibração como amortecedores e festão. Estes obstáculos são transpassados por sequências de movimentos executadas pelo robô. Além disso, idealmente o robô deve apresentar o menor peso, comprimento, altura, ter perfeita aerodinâmica, um formato desprovido de pontas, a maior autonomia possível, baixo custo, além de apresentar uma blindagem eletromagnética que deve impedir que os intensos campos magnéticos e elétricos, devido às elevadas correntes que passam nas linhas de transmissão, danifiquem os componentes eletrônicos, além disso, deve apresentar um sistema de comunicação wireless que não seja influenciado pelo elevado campo eletromagnético ao redor dos cabos, além de apresentar motores com elevado rendimento mecânico e elétrico, não apresentar derrapagem quando o mecanismo para movimentação das rodas for acionado, dentre outros. Porém, a prática mostra que a idealização de problemas é algo distante da realidade, isto porque, além de ser fisicamente impossível de representar-se de forma exata situações ideais na prática, devido às perdas de energia e às inúmeras variáveis que teriam de ser abordadas para representar um problema de forma exata, mesmo que fosse possível construir um modelo muito próximo a realidade, o custo iria ser um dos fatores que iria inviabilizar a escolha dos melhores materiais e dos melhores dispositivos. Assim deve-se observar que, em geral, os robôs devem atender as características conforme certos requisitos de projeto, de modo que se aproxime ao máximo da condição ideal, desde que o custo permaneça abaixo de um valor aceitável.

O objetivo principal deste artigo é comparar os robôs de inspeção de linha de transmissão que já foram desenvolvidos entre si e em relação ao robô SRLT “Protótipo I” desenvolvido em uma parceria do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Bahia (SENAI-BA), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

* Estado da arte (Comparar os outros com os outros, mas já pensando nos pontos críticos do nosso)

Diversos robôs para inspeção de linhas de transmissão já foram desenvolvidos, porém poucos deles consistiram realmente em projetos de engenharia que puderam ser aplicáveis. Para que um projeto completo de um robô para inspeção de linha de transmissão fosse desenvolvido as seguintes perguntas deveriam ser feitas: “O robô consegue realizar uma força de tração suficiente para obter-se a velocidade desejada quando o fio encontra-se com uma inclinação máxima?”, “O robô obtêm tração suficiente sobre as diversas emendas que estão presentes sobre o cabo?”, “O robô consegue transpor todos obstáculos quando a linha de transmissão se encontra com qualquer inclinação?”, “O robô tem algum dispositivo para retornar no meio do caminho caso encontre algum obstáculo instransponível?”, “ O robô apresenta um tamanho seguro em relação a distância entre fases?”, “ Como instalar este robô sobre a linha de transmissão?”, “Como medir o nível de bateria?”, “Como localizar a posição que o robô se encontra?”, “ Os efeitos eletromagnéticos gerados pela elevada corrente que passa pela linha de transmissão influenciam de que modo a transmissão wireless? Quais problemas poderão ser causados por esta interferência?”, “Como evitar que a bateria de um robô autônomo acabe enquanto o robô ainda está percorrendo a linha?”, “ Como retirar o robô da linha de transmissão?”, “Como blindar o robô dos efeitos magnéticos e elétricos de forma segura?”, “Quais câmeras utilizar? Aonde posicioná-las?”, “O robô apresenta quanto tempo de autonomia em uma situação crítica?”, “ Como fazer o robô desviar dos obstáculos? Quais sensores utilizar?”, “Como modelar as situações a que o robô estará sujeito?”, são muitas perguntas a serem respondidas e até o momento atual nenhum trabalho referente a robôs de inspeção de linha de transmissão se propôs a responder tais perguntas de uma maneira aberta, como consequência, verifica-se que pouquíssimas universidades no mundo conseguiram realizar trabalhos que foram aplicados de forma prática em relação a este tipo de robô. Além disso, por se tratar de uma informação inovadora, cada uma destas universidades guarda as respostas a estas perguntas como um segredo, mostrando apenas a concepção mecânica, com pouquíssimos cálculos e mostrando poucos testes. Muitos artigos foram publicados enfatizando certos aspectos de robôs, de forma que se juntando vários artigos é possível ter uma boa noção sobre o formato aerodinâmico que o robô de inspeção de linha de transmissão aérea deve apresentar, sobre como se pode reduzir a massa de um robô utilizando-se a técnica de elementos finitos, como transmitir informações wireless, como construir um robô autônomo, como calcular o nível de bateria, quais componentes usar, entre outras informações. Porém, são noções apenas intuitivas na maioria das vezes, de forma que o passo a passo efetivo não é mostrado, por exemplo, como calcula-se a força de tração de um robô sobre o fio, como modela-se esta situação, como realiza-se a blindagem dos componentes e como as interferências eletromagnéticas afetam a transmissão sem fio não são detalhadas.

Dentre os trabalhos de maior destaque é possível citar o robô Expliner, o robô LineScout,**o robô proposto pela USP** e o robô de inspeção autônoma de Zheng Li e Yi Ruan (robô macaco)**.**

**Artigo: Robô móvel aplicado a inspeção das linhas de transmissão**

O robô da USP teve a proposta de se deslocar ao longo do cabo-guarda, visualizando com nitidez o próprio cabo através de câmeras. A partir da utilização de uma câmera móvel, é possível verificar os separadores, as torres e os cabos condutores. Além disso, apresentava a proposta de transpor os grampos de sustentação do cabo-guarda. As imagens geradas no robô são transmitidas via rádio a uma base. O sistema mecânico deste robô foi desenvolvido com base em estudos do vento, dimensionando-se o sistema de locomoção a partir disso, modelos sólidos foram construídos, testou-se e montou-se de forma experimental diferentes arquiteturas de sistema mecânico do robô, o protótipo apresentado neste artigo apresentou três rodas que basculam ao encontrar um obstáculo e também um fuso para balanceamento da massa.

O sistema de controle do robô da USP possuía como arquitetura inicial dois pares de rádios, um para comandos através de portas seriais do notebook e do computador industrial pc104 instalado no robô e um para transmissão de imagens. Utilizou-se o drive de acionamento IR2104 que emite um sinal de controle PWM para atuação dos motores. Realizou-se a comunicação entre robô e base de solo através de protocolos TCP/IP.

**Artigo: Expliner – Robot for Inspecion of Transmission Lines**

O robô Expliner apresentou a função de percorrer cabos de alta voltagem, sobrepondo grampos de suspensão sem tocar na estrutura da torre e espaçadores. Este robô foi colocado sobre as linhas de transmissão através de um cabo de acesso. Inicialmente, foi proposto utilizar-se robôs “worm”, porém segundo os autores deste artigo, estes robôs seriam lentos e complexos. Optou-se por um robô que apresenta 4 pares de rodas e um contrapeso para transposição dos obstáculos. O peso do robô foi de 84 kg, somente o contra-peso utilizado pesava 25kg.

O controle do robô pode ser no modo semi-automático, de forma que o robô poderá sempre pedir autorização para executar uma sequência de movimentos; a unidade de controle foi implementada com o notebook tablet através de switches e joysticks, circuito associado e antenas para comunicação wireless. O notebook mostra a configuração corrente do Expliner com informação adicional para ajudar no controle do robô pelos usuários como imagens e os dados dos encoders.

O sistema de comunicação é baseado em rede sem fio LAN ( Local Area Network) através de um protocolo TCP/IP, esta comunicação pode ocorrer até 200 metros de distância (VER). O Expliner moveu-se a 40 m/min, todos espaçadores de cabos no Japão foram sobrepostos sendo que um destes espaçadores necessitou que o Expliner altera-se o seu centro de massa. O revestimento das rodas através de borracha proveu coeficiente de atrito baixo, modelando-se as forças envolvidas no giro das rodas contra os cabos inclinados definiu-se um coeficiente de atrito mínimo para evitar deslizamento.

O protótipo apresentado neste artigo moveu-se corretamente sobre linhas horizontais, mas não sobre cabos inclinados. Como consequência, chegou-se a conclusão que a massa global do robô deve ser reduzida para que este possa desviar dos obstáculos em cabos inclinados, as unidades de movimento e os atuadores devem ser redimensionados segundo as conclusões do artigo. Encerrou-se o artigo dizendo que a interferência entre os fortes campos eletromagnéticos, corrente de fuga e a comunicação wireless deve ser fortemente analisada.

**Artigo: “Autonomous Inspection Robot for Power Transmission Lines Maintenance while operating on the overhead ground wires”**

O robô de inspeção de linhas de transmissão aéreas proposto neste artigo tem a proposta de inspecionar linhas de transmissão, sobrepondo obstáculos como torres de torsão, contrapesos e grampus. Este robô foi desenvolvido para caminhar sobre fios terra, realizando uma inspeção de linhas de transmissão enquanto cruza torres e tendo um movimento autônomo.

Este robô teve como características morfológicas dois braços os quais podem escalar sobre a partir de garras, cada um destes braços apresenta 4 graus de liberdade. A partir da utilização de uma junta rotacional regula-se o aperto das garras e um mecanismo de porca e parafuso são utilizados para movimentar rodas e garras para cima e para baixo. As dimensões foram 0.8 metro de altura,1.2 metros de comprimento e o peso foi de 30kg incluindo a caixa de controle de aproximadamente 10kg, este robô pode escalar fios com ângulo de inclinação máxima de 60 graus.

Os dispositivos para inspeção e o sistema de controle estão instalados na caixa de controle que está suspensa acima do robô, o sistema de controle apresenta o sistema para supervisão, o sistema de “management” que estão localizados na estação terra, além de apresentar o sistema servo para controle do robô e o sistema atuador para os motores, placa motora e sensores. O sistema operacional Windows XP e Visual C++ são instalados no PC/104. O vídeo da câmera é enviado para uma placa compressora e é salvo no disco rígido. Como sistema servidor para controle e planejamento do caminho do robô utilizou-se o computador embutido PC/104, Eurotech CPU-1461 foi selecionado para PC/104. O motor escovado(Brushless) DC da MAXON foi instalado no robô de inspeção e utilizou-se o drive EPOS 24/5 para emissão de sinais de controle PWM.

A comunicação wireless foi realizada utilizando-se um ponto de acessor de rede sem fio NETGEAR WG102 ProSafe 802.11g, este ponto de acesso provê conectividade com alcance máximo de 15.8 km, a antena ANT24D18 também foi utilizada e em condições ideais esta conexão poderia ser realizada em até 11Mbps (CONFIRMAR TRADUÇÃO). Um compressor de vídeo MPEG-4 desenhado para capturar até 4 canais simultâneos de áudio e vídeo, denominado Eurotech COM-1480 foi utilizado, além disso, este dispositivo também recebe o sinal do GPS.

Uma câmera termal infravermelha e uma câmera de luz visível foram instaladas no robô de inspeção. O “SICK W100L photoelectric switch” oferece sensores laser em miniatura, sendo utilizados para detectar objetos pequenos no processo. O módulo do sensor de inclinação DX tipo (DX-045D ou DX-008) foi utilizado. Há oito switches fotoelétricos, três câmeras e um sensor de inclinação. Além disso, este robô apresenta 13 motores.

Segundo este artigo, há três perguntas a serem respondidas ao se sobrepor obstáculos: 1) Como identificar o tipo de obstáculo. 2) Como confirmar a posição no espaço. 3) Como balancear o centro de gravidade do robô. Estas questões podem ser resolvidas através da utilização de sensores laser, sensores de nível e sensores vídeo. O software de controle que permitiu a interface entre homem e máquina foi programado através da utilização do VC++, de forma que os usuários podem operar podem operar imagens em infravermelho termal ou em luz visível, além disso pode-se salvar a posição em que o robô será salvo.

**Artigo Quebec “Geometric Design of the LineScout, a Teleoperated Robot for Power Line Inspection and Maintenance”**

O robô LineScout foi construído para desempenhar as tarefas de inspeção visual e levar sensores para inspeção da linha. A proposta é fazer com que este robô seja uma extensão dos braços e mãos do homem, algo que não é proposto pelos outros artigos aqui citado e que também não é um objetivo do robô SRLT. O desafio foi então fazer um robô de controle mais intuitivo, isto é seguro a rede, porém de todo modo este robô apresenta potencial para tornar-se mais autônomo no futuro. Como a inspeção será realizada sobre linhas energizadas, um dos mais importantes requisitos ao lado da robustez a interferência eletromagnética é minimizar o peso da plataforma e o tamanho, como consequência uma distância segura das outras plataformas é obtida.

O robô LineScout apresenta 2 rodas com borracha e que são tracionadas, entre estas rodas estão dois conjuntos de rolos de segurança que prendem firmemente. Utilizou-se um caminhão caçamba para colocar o LineScout na linha. O protótipo do LineScout foi construído de alumínio extrudado, contendo 11 motores que são remotamente controlados através da modulação por largura de pulso, testou-se este protótipo em 315 kV e 735 kV. Utilizou-se uma caixa de engrenagem planetária com saída flangeada, um rolamento de rolo cruzado suporta a roda e uma bateria de lítio.

* Proposta (Como irá resolver os problemas dos outros de forma qualitativa)

Para obter tração suficiente---

Tamanho menor...

Menor custo...

Menor peso... Robô mais leve dentre estes 3

Robô apresenta grande autonomia.

Mais fácil de colocar o robô SRLT sobre a linha de transmissão. Robô com boas características para ser utilizado na realidade.

Menor ou maior número de motores (ver)

É um robô autônomo e não transmite imagens em tempo real, porém irá filmar os trechos de cabos que forem críticos.

Atende o propósito de verificar a temperatura ao longo dos cabos, porém não troca dispositivos, não é capaz de dar manutenção na linha é apenas um instrumento de inspeção através da verificação de qual é a temperatura ao longo dos cabos, emendas etc.

Robô SRLT por apresentar menor peso será mais fácil de ser manuseado, sem necessitar de caminhões e de dispositivos de grande porte para colocar o robô sobre a linha, a idéia é de conferir a este robô as melhores características para aplicação real, facilitando o processo de montagem deste robô sobre a linha.

Executa menos funções e não apresenta modo de controle manual, apresenta somente botões de continuação, parada e retorno.

* Resultados Protótipo I ou esperados

Espera-se que o robô SRLT (Protótipo I) seja capaz de transpor todos os obstáculos da linha de transmissão na situação em que os cabos apresentem inclinação máxima W. A velocidade de projeto para protótipo I é de M. A interferência eletromagnética das linhas de transmissão com o sistema wireless e o sistema de localização do GPS deve apresentar baixos valores, já que testes em ambientes (Quais ambientes???) com elevados níveis de campos eletromagnéticos foram realizados e interferências significativas não foram observadas. A blindagem eletromagnética dos componentes eletrônicos foi testada sobre a mesma tensão das linhas de transmissão (isto mesmo?).

A(s) câmera(s) termográfica(s) e as câmeras () serão suficientes para o objetivo deste projeto, de modo que as temperaturas ao longo dos cabos serão medidas, toda condição anormal de temperatura irá ser registrada na memória do microcontrolador e associada a ela será registrada a localização instantânea através de GPS. Sistemas de GPS podem apresentar elevadas incertezas, no Brasil estas incertezas são de aproximadamente 15 metros, porém dispositivos podem ser utilizados para reduzir-se o valor destas incertezas, de todo modo, a localização de regiões defeituosas em cima das linhas de transmissão poderá ser realizada de forma aproximada. Espera-se também que a colocação e retirada do robô SRLT das linhas de transmissão da CEMIG possa ser realizada de maneira rápida e segura pelos eletricistas.

* Conclusão

O robô SRLT apesar de executar sequências de movimentos não tão complexas quanto o robô Expliner, o robô macaco e o robô LineScout, apresenta uma vantagem extremamente grande em relação a estes três robôs, o menor peso. Enquanto estes robôs apresentam respectivamente x,y,z kg, o robô SRLT apresenta somente 7kg. Esta característica confere ao robô SRLT uma vantagem extremamente grande no sentido de que este robô pode ser retirado e colocado na linha de transmissão a partir de dois eletricistas, não necessitando de dispositivos de auxílio para colocação e retirada dos robôs como caminhões caçamba.

O robô SRLT é capaz de realizar a inspeção de linhas de transmissão utilizando-se câmeras termográficas, mede como a temperatura varia ao longo das linhas de transmissão e registra a posição de regiões com temperaturas acima de um valor especificado através da utilização de GPS, além disso, deve ser capaz de transpor todos obstáculos ao longo das linhas de transmissão da CEMIG, apresenta baixo peso, autonomia de y horas e uma velocidade de inspeção de w metros por segundo, sendo um robô que apresenta as características essenciais para uma aplicação real.

Referência Bibliográfica

[1]Ventrella,A.G.;Moscato L.A.; de Souza,A.; dos Santos,M.F.; Filho,W.B.V.;Ferreira,G.A.N.; 200?;”Robô móvel aplicado a inspeção das linhas de transmissão”

Debenest,P.; Guarnieri,M.; Takita,k., Fukushima, E.F.; Hirose,S.; Tamura, K.; Kimura,A.; Kubokawa,H.;Iwama,N.;Shiga,F.; “Expliner – Robot for Inspection of Transmission Lines” IEEE International Conference on Robotics and Automation 2008, Pasadena, CA,USA, maio 19-23,2008