



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کوز

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



10670-NWWCE

طراحی و ساخت ربات بازرسی شبکه های فاضلاب با قابلیت تغییر مسیر و حرکت در لوله فاضلاب با بستر نامناسب

مسلم سردشتی پیرجندی^۱، حبیب اعلائی^۲

۱- دانشگاه سیستان و بلوچستان، کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک و مکنیک، کارمند شرکت آب و فاضلاب زابل

۲- دانشگاه سیستان و بلوچستان، کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب زابل

*Moslemsardashti@gmail.com

خلاصه

بازرسی شبکه های فاضلاب به دو منظور معمولاً صورت می گیرد، یکی قبل از بهره برداری به منظور بررسی عملکرد پیمانکار (اتصالات بین لوله ها، صحت انجام انشعابات، نظافت کامل داخل لوله از مصالح ساختمانی زمان اجرا، رعایت شیب مناسب، دفرمگی در مقطع لوله، پارگی ها، شکاف ها، اتصال قطعات آب بند و واشرها و ...) و دیگری بعد از بهره برداری بصورت دوره ای به منظور تعیین وضعیت شبکه از نظر خوردگی، گرفتگی و میزان رسوبات، نفوذ اجسام خارجی، تغییر شکل، شیب، رسوب چربی بر جداره لوله، حرکات بستر لوله، نشست فاضلاب از لوله به بیرون و سایر موارد در شبکه ضروری می باشد. استفاده از ربات برای چنین ماموریتی بسیار مفید بوده و انجام بازرسی را امکان پذیر می کند. در این مقاله یک نمونه ربات با قابلیت های خاص بازرسی شبکه های فاضلاب که ضد آب بوده، طراحی و پیاده سازی شده است. بستر ربات قابلیت حرکت در محیط فاضلاب و عبور از موانع کوچک را داشته و دسترسی به داخل شبکه را فراهم می کند. ربات قابلیت نصب دو نوع دوربین بصورت جدا یا همزمان را دارد که یکی از دوربین ها که جهت آن قبل ورود به لوله توسط اپراتور تنظیم می شود (که معمولاً هم رو به جلو تنظیم می شود) غیر قابل چرخش از راه دور و ثابت می باشد و دوربین دیگری قابلیت چرخش به سمت دیواره لوله را در دو جهت دارا بود و تصویر کامل و با کیفیتی را از دیواره داخلی لوله تهیه می کند. کنترل ربات از طریق یک کنسول کنترل که در بیرون از لوله مستقر شده است، صورت می گیرد. ارتباط این کنسول با ربات از طریق یک کابل مخصوص که سیگنال تصویر و تغذیه را به ربات انتقال می دهد، عملی می گردد. این ربات در شرایط واقعی تست شده و عملکرد سیستم و نقاط قوت و ضعف آن مورد بحث قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: ربات بازرسی، شبکه فاضلاب، منهول، لوله

۱. مقدمه

شبکه های فاضلاب به عنوان سازه های زیر زمینی بسیار موثر و مهم، بایستی مورد توجه خاص قرار بگیرند. از آنجا که بسیاری از این شبکه ها دارای عمر طولانی می باشند، می توان پیش بینی نمود که مشکلات فراوانی نظیر نشی، ریزش و از بین رفتن شبکه ممکن است در بسیاری از نقاط شبکه ایجاد گردیده باشد. این مشکل از طرفی باعث نشست فاضلاب به خاک اطراف و ایجاد مشکلات زیست محیطی شده و از طرفی دیگر باعث نفوذ آب های زیرزمینی به داخل شبکه و افزایش میزان فاضلاب شده و مشکلات انتقال و تصفیه را به دنبال خواهد داشت. بازرسی شبکه به منظور آگاهی از وضعیت آن و اتخاذ تصمیمات بازایی و بازسازی شبکه ضرورت فراوانی دارد. از آنجا که قطر لوله ها در بسیاری از شبکه ها در حدود ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی متر می باشد، حضور انسان برای انجام بازرسی عملاً غیرممکن می باشد. در سازه های بزرگتر نیز، وجود گازهای خطرناک، غیرقابل پیش بینی بودن شبکه و وجود خطر ریزش، حضور انسان برای انجام بازرسی را غیرمنطقی می نماید. لذا استفاده از ربات های متحرک برای انجام بازرسی شبکه فاضلاب بسیار رایج گردیده است [۱].

ربات های بازرسی شبکه فاضلاب، ربات های چهار چرخ و یا دارای شنی می باشند که با حرکت در داخل لوله، از طریق دوربین ویدئومتری مستقر بر روی آنها تصویر داخل شبکه و دیواره های لوله را تهیه نموده و از طریق کابل متصل به ربات به بیرون ارسال می کند. این تصویر در بیرون از شبکه، در جنب منهول (چاه آدم رو) که ربات از طریق آن ارسال گردیده است، توسط اپراتور سیستم قابل مشاهده و ذخیره می باشد [۲]. البته شایان ذکر است که در ربات طراحی شده این قابلیت به قابلیت های ربات اضافه شده است که علاوه بر اینکه اپراتور در جنب منهول امکان مشاهده تصویرهای ارسالی از ربات را دارد، مدیر قسمت هم میتواند از راه دور و در اتاق خود با داشتن اینترنت، تصاویر را بصورت آنلاین مشاهده کند. دو روندی که هم اکنون در سیستم های رباتیک بازرسی در حال پیگیری می باشد، عبارت از:

- افزایش قابلیت ربات از نظر سیستم سنسوری، کنترل از راه دور و توانایی حرکت در مسیر
- افزایش حوزه کاربرد ربات، کوچک نمودن سایز آن و امکان استفاده از آن در محیط های صنعتی

به عنوان مثال مشکلاتی نظیر نبودن یا ناقص بودن نقشه های شبکه لوله، رسوبات زیاد در کف لوله، نقاط منفصل شده در بعضی قسمت های لوله، فرورفتگی های ناگهانی، خم های تند و یا انشعابات با قطرهای متفاوت، حرکت ربات در داخل لوله را با مشکلات فراوانی مواجه می کند و در این ماموریت تنها سیستم تصویربرداری و نورپردازی، اپراتور هدایت کننده را همراهی می کند [۱]. با توجه با این مبحث، سازندگان مختلف این ربات ها، دو خانواده کلی یعنی ربات های بر پایه چرخ و ربات های بر پایه شنی را ارائه داده اند. هر یک از این رباتها دارای مزایا و معایب خاص خود می باشد. ربات های بر پایه شنی قابلیت حرکت بهتری را در محیط های ناهموار و نامساعد از خود نشان می دهند و دارای درجه اطمینان بالاتری در عبور از رسوبات و ناهمواری های داخل شبکه می باشند. علی رغم این موضوع، شنی ها دارای پیچیدگی بیشتر از نظر ساخت مکانیکی و تعمیر و نگهداری هستند. زوائد بسیار زیاد موجود در فاضلاب اعم از مو و بسیاری از زوائد متنوع، می تواند وارد سیستم مکانیکی شنی گردیده و راندمان آن را بسیار کاهش دهد. لذا ربات پیشنهاد شده در این مقاله با اینکه بر پایه استفاده از شنی می باشد ولی برای افزایش قابلیت حرکتی آن نکاتی لحاظ گردیده است [۳-۱۳].

سخت افزار در نظر گرفته شده در این سیستم های رباتیک از دو قسمت اصلی تشکیل شده است. قسمت اول که سخت افزار تعبیه شده بر روی ربات میباشد و اجرای فرامینی که از طریق کنسول کنترل و هدایت ربات و توسط اپراتور ارسال می گردد را برعهده دارد. قسمت دوم سخت افزار دوم سخت افزار که در کنسول کنترلی و در نزدیک منهول ارسالی ربات به داخل لوله مستقر شده، فرامین اپراتور که از طریق دستگیره فرمان تولید می گردند برای سخت افزار تعبیه شده روی ربات ارسال و اجرا میکنند [۱۲-۱۷]. از جمله ویژگی های مهم دیگر ربات های بازرسی شبکه فاضلاب، آب بندی مناسب به منظور جلوگیری از نفوذ سیال به داخل ربات می باشد. ربات مورد بحث در این مقاله، دارای ویژگی های کاملی از نظر آب بندی می باشد. در ادامه زیر مجموعه های مختلف ربات معرفی و مباحث فنی به تفصیل توضیح داده می شود.

۲. طراحی مکانیکی ربات

طراحی سیستم مکانیکی ربات این مورد بحث در این مقاله، با توجه به اهداف پروژه و ماموریت های مورد انتظار از ربات و برقراری برخی ویژگی های طراحی بصورت هدفمند دنبال شده است. این موارد عبارتند از:

- ضد آب بودن ربات
- ماژولار بودن ربات
- پایین آوردن هزینه ساخت ربات

در ادامه چگونگی رعایت این موارد در طرح مورد بحث قرار گرفته است.

۲-۱ ضد آب بودن

با توجه به حضور ربات در شبکه های فاضلاب و امکان غوطه وری کامل در فاضلاب، ربات بایستی دارای درجه مراقبت IP68 باشد. رعایت این استاندارد متضمن عملکرد ربات در زیر سطح آب به میزان ۰٫۵ متر و به مدت ۳۰ دقیقه می باشد. با توجه به اینکه فشار شبکه های فاضلاب تقریباً معادل فشار هوای محیط است، درجه مراقبت IP68 در این سیستم کافی می باشد. در این ربات، برخی قسمتها نیازمند آب بندی استاتیکی و برخی قسمت ها

نیازمند آب بندی دینامیکی می باشد. بعنوان مثال آب بندی درب مازول بایستی استاتیکی ولی شافت های محرکی که از بدنه مازول ها برای چرخش خارج می شوند بایستی دارای آب بندی دینامیکی باشند. آب بندی دینامیکی اصولاً حساسیت بالاتری دارد و مشکلتر می باشد. در شکل ۱، یک نمای کلی از ربات طراحی و ساخته شده ملاحظه می شود.



شکل ۱- ربات طراحی و ساخته شده

ایجاد آب بندی استاتیکی می تواند با استفاده از ارینگ و یا واشرهای آب بندی میسر گردد. البته استفاده از ارینگ قابلیت اطمینان بالاتری داشته و به دفعات قسمت آب بند شده می تواند باز و بسته شود. در آب بندی دینامیکی بایستی از المان های مخصوص خود استفاده نمود. رایجترین المانها کاسه نمد و پکینگ می باشد. در آب بندی دینامیکی، با توجه به لغزش در المان آب بندی، روانکاری مهم می باشد لیکن در مواردی که انجام روانکاری مشکل یا غیرممکن می باشد می توان از المان های خود روان کار که از جنس خاص ساخته شده است، استفاده نمود. در این ربات با توجه به حساسیت بالای آب بندی از هر دو المان کاسه نمد و پکینگ استفاده شده است.

۲-۲ مازولار بودن

در سیستم های رباتیک بازرسی، با توجه به تنوع نیازهای بازرسی، طراحی به گونه ای صورت می گیرد تا در موارد مورد نیاز بتوان مجموعه های مختلفی را روی ربات نصب کرده و استفاده نمود. این ربات دارای سه مازول مکانیکی مستقل می باشد که عبارتند از: قسمت حرکتی ربات، سیستم تنظیم ارتفاع دوربین و مکانیزم چرخش دوربین در دو جهت (Pan-Tilt)

۲-۲-۱ مازول حرکتی ربات

مازول حرکتی ربات، بستر اصلی ربات می باشد که موتورهای محرکه اصلی و بخش سخت افزار الکتریکی ربات در این واحد جاگذاری شده است. در شبکه های فاضلاب، معمولاً لوله ها بطور مستقیم، آدم روها را به هم وصل می کنند و خم های ضروری در شبکه در محل های آدم روها تعبیه می شود. لذا در اکثر ربات های ویدئومتری شبکه فاضلاب موجود در بازار تنها حرکت مستقیم به جلو و عقب برای ربات را کافی دانسته و از یک موتور حرکتی، برای حرکت ربات به جلو و عقب استفاده می کنند ولی، در ربات طراحی شده در این مقاله دو عدد موتور برای حرکت تعبیه شده است که با ایجاد خاصیت دور زدن در ربات، به ربات کمک می کند تا هرگونه تغییر حرکت ربات در داخل لوله در اثر موانع موجود در شبکه فاضلاب را با تغییر جهت مخالف خنثی کرده و مانع افتادن ربات به یک طرف شود.

در ربات های متحرک، معمولاً دو نوع مکانیزم چرخ و شنی برای ایجاد حرکت مورد استفاده قرار می گیرد. هر کدام از این مکانیزم ها مزایا و معایبی دارند. مکانیزم بر پایه چرخ ساده تر هستند ولی در عوض امکان سر خوردن و گیر کردن ربات در برخورد با موانع وجود دارد. ربات ها بر پایه

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

شنی، پیچیده تر هستند ولی قابلیت حرکت بهتری را در طی مسیر و عبور از موانع از خود نشان می دهند. البته مکانیزم شنی مشکلاتی را در اثر ورود و گیر کردن مواد و ضایعات در داخل شنی ایجاد نموده است و نگهداری ربات را مشکلتر می کند. با ملاحظه این موارد، مصرف کنندگان ربات بسته به سلیقه یکی از دو مکانیزم را انتخاب می کنند. همانطور که در شکل ۲ دیده می شود، در ربات طراحی شده از مکانیزم شنی با قابلیت اضافه کردن چرخ های لاستیکی در صورت نیاز و استفاده همزمان از دو مکانیزم، قابلیت حرکت بهتر در طی مسیر و عبور از موانع میسر شده است و برای به حداقل رساندن مشکلات مکانیزم شنی در اثر ورود و گیر کردن مواد و ضایعات در داخل شنی، پهنای شنی تا حد ممکن کم شده است و به این صورت این مشکل تقریباً حل شده است. البته قابل ذکر است که انواع چرخ لاستیکی در سایزهای مختلف و چرخنده با پهنای مختلف شنی، قابل نصب بر روی ربات طراحی شده میباشد که پس از تست های مختلف، نمونه ای که در تصویر شکل ۲ مشاهده میکنید بهترین کارایی و بازده را از خود نشان داده است.



شکل ۲- استفاده همزمان از مکانیزم شنی و چرخ

۲-۲-۲ مازول تنظیم ارتفاع دوربین

در بازرسی شبکه های فاضلاب با اقطار مختلف، به منظور افزایش کیفیت بازرسی، بایستی دوربین را در مرکز لوله مستقر نمود. در ربات طراحی شده همانطور که در شکل شماره ۳ مشاهده میکنید، از یک سری پایه های خیلی ساده در اندازه های مختلف برای نگهداری دوربین استفاده می شود که حالت کشویی داشته و قابل تنظیم ارتفاع برای اقطار مختلف است. در ربات های ویدئومتری شبکه فاضلاب موجود در بازار، معمولاً از موتور گیربکس دار برای تنظیم ارتفاع دوربین استفاده می شود، در حالی که در این ربات با توجه به اینکه یکی از اهداف ساخت این ربات کاهش هزینه ساخت ربات می باشد و همچنین با توجه به دانستن قطر لوله پیش از ورود ربات به داخل لوله میتوان با دست ارتفاع دوربین را تنظیم نمود، ترجیح داده شده است که از یک مکانیزم خیلی ساده استفاده شود.



شکل ۳- پایه های کشویی دوربین ربات

۳-۲-۲ Pan-Tilt مازول

دوربین بازرسی یکی از مهمترین المانهای ربات می باشد که برای تهیه تصویر از محیط لوله روی ربات قرار می گیرد. به منظور ایجاد تصویر کاملتر، دوربین معمولاً بر روی یک مکانیزم Pan-Tilt که چرخش دوربین را در دو جهت فراهم می نماید، نصب میگردد تا تصویر کاملتری از دیواره لوله تهیه گردد. در این مکانیزم دو درجه آزادی، دو موتور گیربکس از طریق پولیهایی مفصل مربوط به درجات آزادی مکانیزم را به چرخش در می آورند. البته

در ربات طراحی شده علاوه بر دوربین با مکانیزم Pan-Tilt، از یک دوربین دیگر که جهت آن قبل از ورود ربات به داخل لوله توسط اپراتور تنظیم می شود نیز استفاده شده است. این دوربین معمولاً رو به جلو تنظیم شده و اطلاعات از مسیر روبروی ربات را به مانیتور اپراتور می فرستد، در حالی که دوربین نصب شده بر روی مکانیزم Pan-Tilt، علاوه بر اینکه تصویر کاملی به اپراتور را می دهد، با اتصال به اینترنت در بیرون از منهل، امکان تماشای تصاویر لوله مورد بازدید را به مدیران و مسئولین مربوطه در محل کار آنها میسر میسازد. تصاویر دوربین های بکار رفته در ربات طراحی شده را در شکل شماره ۴ مشاهده میکنید که هر کدام بسته به تشخیص اپراتور به راحتی قابل نصب روی ربات و تصویر برداری هستند.



شکل ۴- دوربین های ثابت و گردان استفاده شده در ربات

۲-۴ کاهش هزینه ساخت و سفارشی کردن دستگاه

نمونه های خارجی ربات های ویدئومتری شبکه فاضلاب موجود در بازار، بسته به مورد استفاده آنها و امکاناتشان، دارای هزینه خرید بسیار بالایی در حدود ۴۰۰ میلیون تومان تا ۱ میلیارد تومان هستند که این امر باعث شده که تعداد انگشت شماری از شرکت های آب فاضلاب کشور توانایی خرید این ربات ها را داشته باشند. در این پروژه سعی شده است که هزینه ساخت این ربات تا حد امکان کاهش پیدا کند تا شرکت های آب و فاضلاب شهرهای کوچک کشورمان هم توانایی خرید و استفاده از این نوع ربات ها را داشته باشند. توانسته ایم هزینه طراحی و ساخت ربات را به حدود یک صدم هزینه خرید نمونه های خارجی آن برسانیم. از آنجاییکه کلیه مراحل طراحی و ساخت دستگاه بصورت زنجیره ای صورت گرفته لذا امکان افزودن قابلیت و تغییرات در آن بنا بر شرایط بهره بردار وجود دارد. اعمال قابلیت های منطبق با نظر بهره بردار ضمن افزایش بهره وری، کاهش هزینه ناشی از قرار دادن تجهیزات اضافی را نیز موجب خواهد شد.

۳. طراحی سیستم الکتریکی

سیستم الکتریکی ربات از دو قسمت اصلی تشکیل شده است که یکی کنسول کنترل و هدایت ربات (سخت افزار ثابت) می باشد و دیگری سخت افزار تعبیه شده بر روی بستر رباتیکی (سخت افزار متحرک) می باشد. این دو واحد از طریق یک ارتباط استاندارد با هم مبادله اطلاعات می نمایند. دستورات



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



اپراتور که از طریق یک فرمان به سخت افزار ثابت منتقل می شود، از طریق این سخت افزار برای ربات ارسال شده و در آنجا توسط سخت افزار متحرک دریافت و اجرا می گردد. سخت افزار متحرک شامل قسمتهای مربوط به راه اندازی موتورهای الکتریکی ربات، سیستم تصویربرداری و نورپردازی می باشد.

۳-۱-۱ محرک های ربات

از بین محرکهای مختلفی که امکان استفاده در سیستم های رباتیک را دارند، محرک های الکتریکی را میتوان به عنوان بهترین گزینه انتخاب نمود. خواصی مانند کنترل پذیری مناسب، سائز کوچک و راندمان بالا را می توان از ویژگی های این محرک ها در نظر گرفت. در بین محرک های الکتریکی، خواص ذکر شده فوق در بین موتور گیربکس های الکتریکی DC برجسته تر می باشند. لذا از این محرکها برای تامین درجات آزادی ربات بهره گرفته شده است.

۳-۲-۲ سیستم تصویر برداری

ایجاد تصویر با کیفیت و واضح از دیواره های داخل لوله، مهمترین هدف در بازرسی شبکه فاضلاب می باشد. مشاهده تصویر مناسب توسط اپراتور، متضمن تصویر با کیفیت و انتقال سیگنال بطور مناسب می باشد. همه موارد فوق برای رسیدن به تصویر مناسب در این سیستم رعایت گردیده است. نکته موثر دیگر در تهیه تصویر مناسب، ایجاد نور کافی در محیط می باشد. با توجه به تاریکی مطلق در داخل لوله، بایستی شدت نور کافی بوده و بسته به شرایط قابل تنظیم باشد. برای روشنایی در ربات، از Led های پر نور که نور زیادی را با راندمان بالا ایجاد می کند بهره گرفته شده است. بدیهی است برای سایزهای بزرگ لوله بایستی سیستم نورپردازی را تقویت نموده و افزایش داد.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله طراحی و ساخت یک نمونه ربات بازرسی شبکه های فاضلاب با قابلیت های برجسته و به روز مورد بحث قرار گرفت. نمونه اولیه ارتقا پیدا کرده و از لحاظ امکانات تصویر برداری و نصب انواع دوربین و کیفیت تصویر ارسالی و کنسول کنترلی بهبود یافته و تغییراتی در نمونه اولیه داده شده است. بسیاری از نکات تکنیکی مربوط به طراحی و انتخاب اجزاء به منظور رعایت آب بندی و مقاوم بودن ربات برای کار در محیط فاضلاب ذکر گردید. در نهایت سیستم رباتیکی ساخته شده که در شکل ۵ مشاهده می شود (تصاویر مربوط به نمونه اولیه و نمونه ارتقا یافته). در شبکه های واقعی فاضلاب تست گردید. مناسب بودن آب بندی ربات، تصویر مطلوب و کار کردن کلیه قسمت در شرایط واقعی از نتایج قابل ذکر می باشد. البته با توجه به نمونه بودن این محصول، در مواردی سیستم الکترونیکی دچار مشکل می گردید، اما با توجه به تجربه موجود و در صورت استفاده از المانهایی با قابلیت اعتماد بالاتر، امکان حل این مشکل وجود داشته و می تواند بنابر شرایط استفاده تغییرات لازم اعمال گردد. در شکل ۵ تصاویر ربات طراحی شده به همراه ماژول کنترل از راه دور آن ارائه شده است.



شکل ۵- تصاویر ربات طراحی شده به همراه ماژول کنترل از راه دور آن

۵. مراجع

1. Roth, H.; Schilling, K.; Futterknecht, S.; Weigele, U.; Reisch, M., (1998). Inspection and Repair Robots for Waste Water Pipes: A Challenge to Sensorics and Locomotion, *IEEE Press*
2. Roman, H.T.; Pellegrino, B.A.; Sigrist, W.R.; (1992) Pipe Crawling Inspection Robots: An Overview. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 8(3),
3. Casals, A.; Riba, C.; Minguillon, V.; (1995). A Mobile Vehicle for Pipes Inspection and Maintenance, *ICAR*



شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



4. Roh, S.G.; Ryew, S.M.; Yang, J.H.; Choi, H.R.; (2001). Actively Steerable In pipe Inspection Robots for Underground Urban Gas Pipelines”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Seoul, Korea.
5. Ryew, S.M.; Baik, S.H.; Ryu, S.W; Jung, K.M., Roh S.G.; Choi, H.R.; (2000) In pipe section Robot System with Active Steering Mechanism. *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*
6. Kawaguchi, Y.; Yoshida, I.; Kurumatani, H.; Kikuta, T.; Yamada, Y.; (1995). Internal Pipe Inspection Robot, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*
7. Fujiwara, S.; Kanehara, R.; Okada, T.; Sanemori, T.; (1993). An Articulated Multi-Vehicle Robot for Inspection and Testing of Pipeline Interiors, *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Japan
8. Ilg, W.; Berns, K.; Cordes, S.; Eberl, M.; Dillmann, R.; (1997) A Wheeled Multijoint Robot for Autonomous Sewer Inspection, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp.1678-1692.
9. Hovis, G.L.; (2002) Pipe Crawler Apparatus, *United States Patent*, Patent Number 6(427), 602
10. Kirchner, F.; Hertzberg, J.; (1997) A Prototype Study of an Autonomous Robot Platform for Sewerage System Maintenance, *Journal of Autonomous Robots*, 4(4), p319–331.
11. Watson, K.; Shilelds, N.; Ashworth, R.P.; Hall, F.; (1994). Pipeline inspection vehicle, *United States Patent*, 5(351), 564
12. Horodinca, M.; Doroftei, I.; Mignon, E.; Preumont, A.; (2002). A Simple Architecture for In-Pipe Inspection Robots, *International Colloquium on Mobile and Autonomous Systems*
13. McKay, M.D.; (2000). Miniature Pipe Crawler Tractor, *United States Patent*, 6(35), 786
14. Kepplin, V.; Scholl, K.U.; Berns, K.; (1999) A Mechatronic Concept for a Sewer Inspection Robot, *IEEE Press*, p724–729.
15. Tsuruta, K.; Sasaya, T.; Shibata, T.; Kawahara, N.; (2000). Control Circuit in an In-Pipe Wireless Micm Inspection Robot, *International Symposium on Micro mechatronics and Human Science*, *IEEE*.
16. Kuntze, H. B.; Haffner, H.; (1998). Experiences with the Development of a Robot for Smart Multi sensoric Pipe Inspection, *IEEE Press*, p1773–1778.
17. Scholl, K. U.; Kepplin, V.; Berns, K.; Dillmann, R.; (2000). Controlling a Multi joint Robot for Autonomous Sewer Inspection, *IEEE/RAS International Conference on Robotics and Automation*