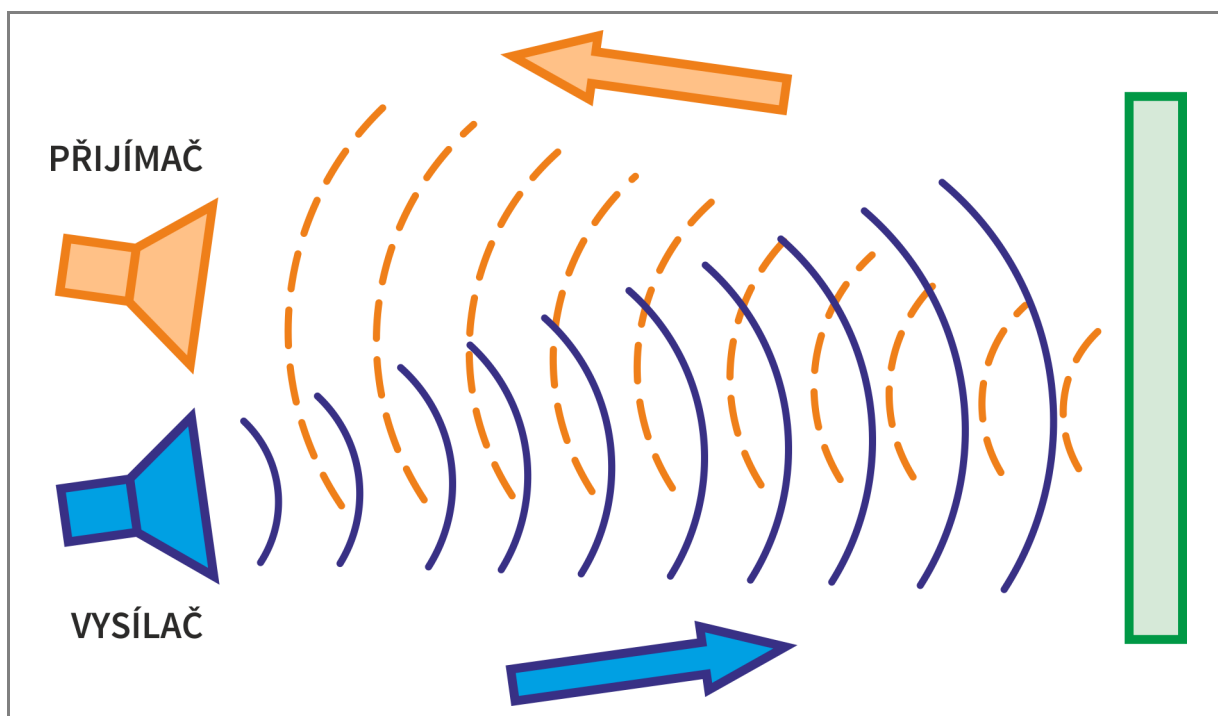


Jak se volá, tak se ozývá

Ultrazvukový dálkoměr je mezi amatérskými robotiky jedním z nejpobulárnějších senzorů, protože je relativně levný, přesný a jednoduše připojitelný k mikrokontroléru. Rozsah měření vzdáleností u běžných ultrazvukových dálkoměrů je od tří centimetrů do čtyř metrů a tak je ideální pro detekci překážek u malých a středních robotů. Tak, jako u jakéhokoliv jiného senzoru, je pro úplné využití jeho vlastností nutná alespoň základní znalost principů funkce.

Základním principem sonaru je generování akustického impulsu a následné naslouchání ozvěnám, vytvořeným odrazem zvukové vlny od překážky. Měřením doby, za kterou se vrátí odražená zvuková vlna, můžeme získat poměrně přesný odhad vzdálenosti k překážce. Frekvence akustického impulsu je nad rozsahem lidského vnímání zvuku.



Základní uspořádání ultrazvukového dálkoměru. Je vyslán ultrazvukový impuls a poté se přijímá ozvěna.

Většina senzorů používá dva ultrazvukové měniče, pracující na frekvenci 40 kHz. Jeden je určen pro vysílání (tedy reproduktor) a jeden pro příjem (tedy mikrofon).

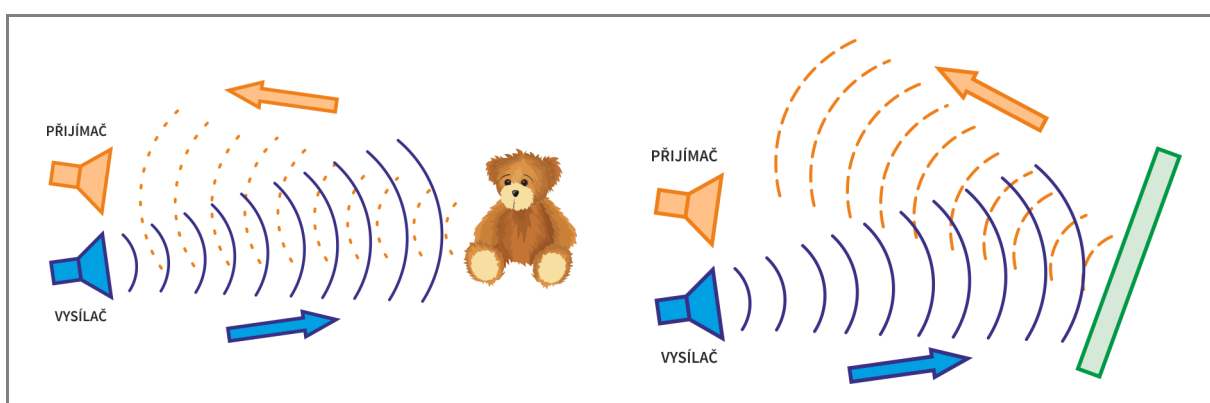
Při měření vzdálenosti překážek ultrazvukem sice může být použito i nižších frekvencí, ale použitím vyšší frekvence se zkracuje vlnová délka vysílaného zvuku, ten se stává směrovějším, a je tedy možno dosáhnout větší přesnosti měření.

Veškerou činnost řídí mikrokontrolér, který se používá pro generování impulzů i k poslouchání ozvěn spolu s dalšími součástkami, které detekují a upravují signály.

Výstupem senzoru je jednoduchý obdélníkový impuls, jehož délka je přímo úměrná vzdálenosti od detekované překážky; čím je překážka vzdálenější, tím je výstupní impuls delší.

Neurčitost některých proměnných může zkomplikovat absolutní hodnoty měření. Rychlost šíření zvuku ve vzduchu není konstantní a mírně se liší v závislosti na jeho teplotě a vlhkosti. Měřená vzdálenost by proto vždy měla být považována nikoli za absolutní, ale jen přibližnou hodnotu.

Existuje ale ještě mnoho dalších faktorů, které ovlivňují přesnost měření jakéhokoliv ultrazvukového dálkoměru. Velikost, tvarová složitost a orientace překážky mohou hrát roli při přesné detekci. Ultrazvukový dálkoměr nemusí vůbec detekovat velmi měkký objekt, protože akustický impuls se neodrazí, ale jeho energie je objektem pohlcena. Objekt natočený velkou odraznou plochou směrem od senzoru také nemusí být detekován, protože akustický impuls může být odražen jiným směrem a nebude tedy senzorem přijat.



Měkké předměty vykazují malý nebo žádný odraz

Skloněná plocha může odrazit ultrazvuk mimo přijímač

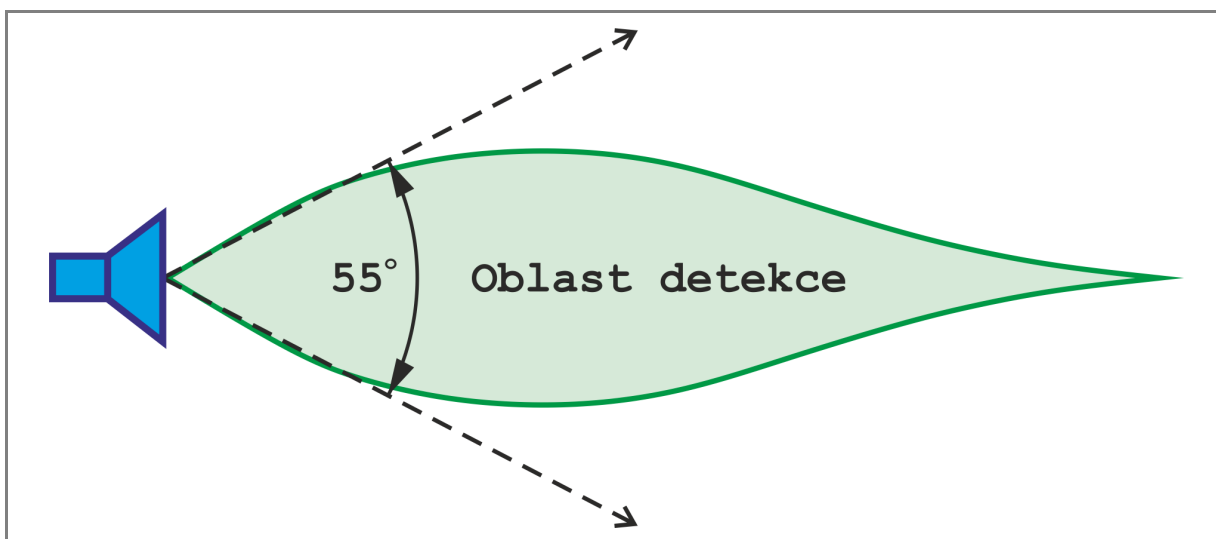
Kromě případů, kdy senzor nedetekuje překážku vůbec, také může nastat situace, kdy bude senzor překážku detekovat chybně, zejména v prostředí s více objekty. Velmi častou příčinou chybné detekce je nedostatečná prodleva mezi jednotlivými měřeními, takže senzor může zachytit ještě dozívající ozvěnu impulsu předchozího měření. Podobná situace může nastat při použití více sonarů a spouští je buď současně, nebo velmi krátce po sobě.

Detekční zóna

Správné pochopení tvaru zóny detekce sonaru je klíčem k vývoji úspěšného detekčního algoritmu. Směrová charakteristika ultrazvukového sonaru bývá typicky popsána jako kužel s určitým úhlem rozevření (často to bývá přibližně 55°). Tento úhel popisuje oblouk, ve kterém se ultrazvukový impuls šíří od vysílače. Běžným omylem bývá považovat zónu detekce senzoru shodnou s tímto obloukem. Závěrem takové úvahy by mohlo být, že zóna detekce je kruhová výšeč o úhlu rozevření 55° ¹ do vzdálenosti 4 metrů sonaru. Ve skutečnosti se ovšem zóna detekce rozšiřuje v úhlu 55° jen první metr a pak se opět zužuje. Přibližně 2 metry od senzoru je už úhel zóny detekce jen přibližně 40° a zóna se bude blížit

¹ Jako dílek pizzy...

své maximální šířce 80 až 100 cm. Od tohoto bodu se zóna detekce opět začne zužovat až do nulové šířky ve vzdálenosti přibližně 4 metrů od senzoru.



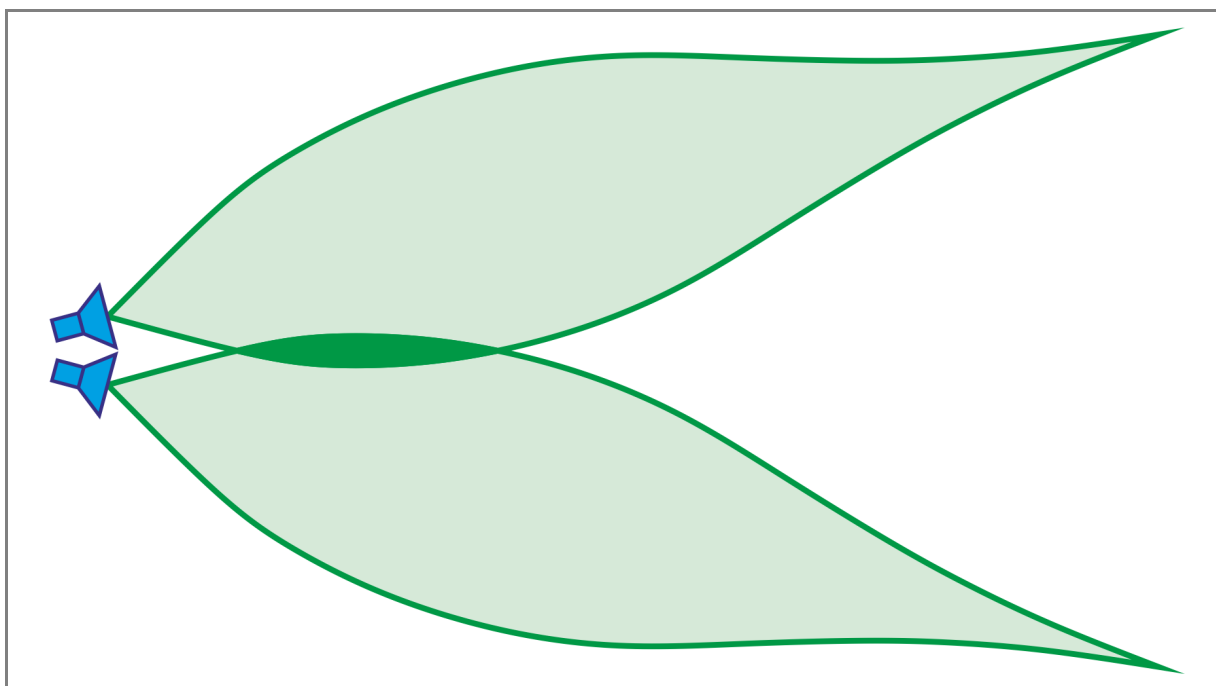
Oblast detekce sonaru SRF05 měří v nejširším místě přibližně 1m a je dlouhá více než 4 metry.

Skutečná zóna detekce se bude měnit také v závislosti na velikosti a tvaru detekovaného objektu. Menší a obléjší objekty budou detekovány jen blíže ke středu zóny detekce, zatímco větší a širší objekty budou detekovány i na jejich okrajích. Zóna detekce ve tvaru podlouhlé slzy může ale pro začátek posloužit jako obecné vodítko.

Tvar zóny detekce má dva důležité důsledky. Za prvé, zvukový paprsek je úzký blízko senzoru, což vede ke vzniku mrtvé zóny právě tam, kde by bylo třeba detekovat překážky. Za druhé, zóna je naopak relativně široká – téměř metr – ve většině dosahu senzoru. Objekt detekovaný ve vzdálenosti 1,5 metru od senzoru se tedy může nacházet kdekoliv v šířce jednoho metru.

Strategie pohybu

Jakmile poznáme možnosti ultrazvukové detekce, můžeme implementovat základní strategii vyhýbání se překážce – pohyb dopředu, dokud objekt není detekován v prahové vzdálenosti, a následná změna směru pohybu. V tomto scénáři jsou ale dvě omezení. Pokud je prahová vzdálenost od detekovaného objektu nastavena příliš blízko senzoru, pak se mohou kolizní objekty nacházet v mrtvé zóně senzoru. Pokud je prahová vzdálenost nastavena naopak příliš daleko od senzoru, pak mohou být detekovány i objekty, které nejsou v kolizním směru (samozřejmě za předpokladu, že šířka robotu je menší než jeden metr). Dobrá strategie musí používat hodnoty mezi těmito omezeními. Blíže k senzoru, kdy je úhel detekce 55°, se bude šířka zóny detekce rozšiřovat o přibližně 9,2 cm na každých 10 cm vzdálenosti od senzoru. Takže pokud je robot 18,4 centimetrů široký, musí být prahová vzdálenost alespoň 20 centimetrů, aby robot detekovaný objekt bezpečně minul (v praxi by prahová vzdálenost měla být nastavena dostatečně velká, aby zbyla rozumná rezerva pro chyby a odchylky). Běžným způsobem omezení těchto slepých míst a dosažení větší šířky detekce je montáž senzoru za přední hranu robotu směrem k jeho středu.



*Oblasti detekční zóny dvou senzorů, umístěných pod úhlem 30°.
 Díky překrývání oblastí detekce je možné rozlišit překážku vpravo, vlevo nebo uprostřed.*

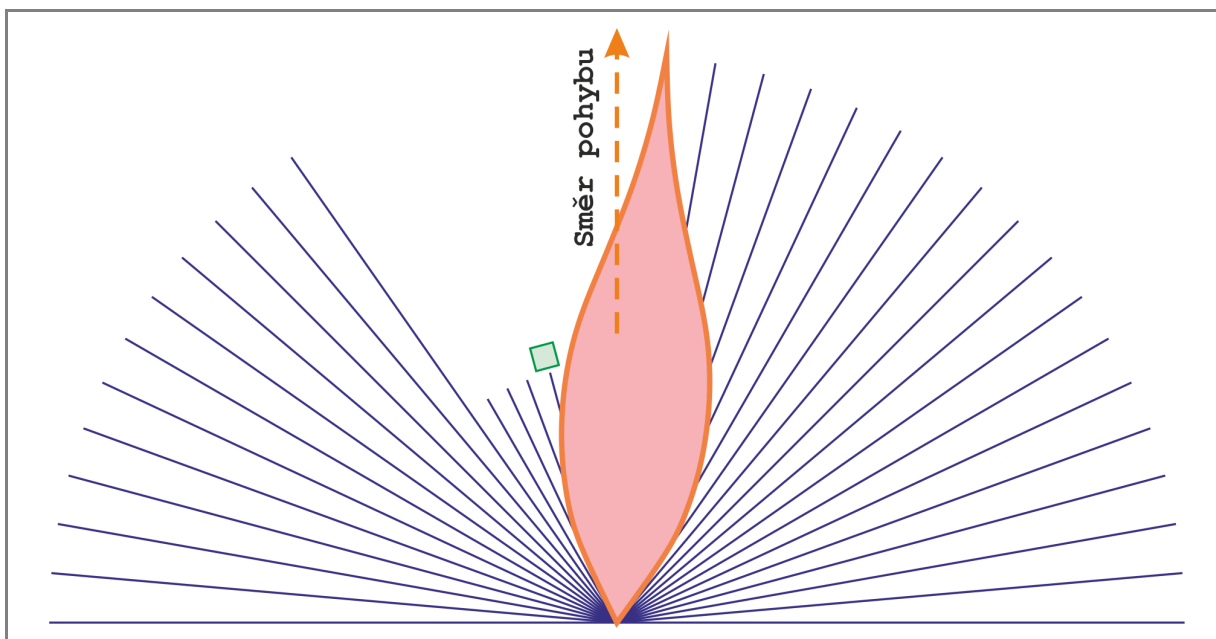
Jednoduchým rozšířením této základní strategie může být přidání dalšího sonaru a jejich montáží tak, aby oba směřovaly sice vpřed, ale každý z nich byl mírně natočen do boku. Pokud jsou senzory umístěny tak, že je mezi nimi oblast, kde se obě zóny detekce protínají, můžete vytvořit algoritmus všech čtyř možných stavů detekce podle následující pravdivostní tabulky:

Levý senzor	Pravý senzor	Stav	Akce
Žádná překážka	Žádná překážka	Žádná překážka	Pohyb kupředu
Překážka	Žádná překážka	Překážka vlevo	Mírné zatočení doprava
Žádná překážka	Překážka	Překážka vpravo	Mírné zatočení doleva
Překážka	Překážka	Překážka uprostřed	Prudké zatočení (vlevo nebo vpravo)

Mezi výhody této čtyřstavové strategie se dvěma senzory patří omezení slepých míst a přesnější vyhýbání překážkám, protože lépe známe jejich polohu. Nevýhodou této strategie je ovšem vyšší cena řešení, protože musíme použít další senzor. Také se zvětší možnost falešných detekcí, způsobených odraženými ozvěnami. Tuto chybu je ale možno omezit nastavením delší prodlevy mezi měřeními jednotlivých senzorů.

Pokud je požadována ještě větší přesnost měření, měřící systém může být navržen tak, aby bylo možno číst údaje o vzdálenosti překážky vícekrát pod různým úhlem a porovnávat výsledky těchto měření. Existuje samozřejmě více možností, jak zajistit „rozhlednutí“ senzoru, ale v amatérské robotice je běžným a praktickým řešením montáž senzoru na modelářské servo, které postupně natáčí senzor a řídicí systém zaznamenává výsledky měření v závislosti na úhlu natočení. Protože většina hobby serv se spolehlivě a opakovaně natáčí v krocích po 1 nebo 2 úhlových stupních, můžete tímto způsobem vytvořit celý sonarový obraz okolí.

Informace, získané těmito vícenásobnými měřeními otevírají celou řadu nových možností. Nejjednodušší možností je srovnání výsledků měření všech možných trajektorií pohybu, výběr trajektorie s nejširší oblastí bez překážek a nasměrování robotu tímto směrem. Robot by se musel otočit do nového směru, což ovšem může představovat další problém při detekci velmi blízkých překážek, které se při natáčení mohou dostat do kolize s robotem. Jakmile by robot byl nasměrován na tuto „ideální“ trajektorii, mohl by se pohybovat přímým směrem a při tom hledat blízké překážky. Jakmile by takovou překážku detekoval, mohl by začít hledat novou ideální trajektorii. Tato základní strategie by robotu umožňovala pohyb po delších úsecích a poskytovala by menší pravděpodobnost uvíznutí robotu, než strategie uvedená dříve.



*Zóny detekce mohou také určovat směr, který je bez překážek.
Ačkoliv při zkoumání momentálního směru se vrací ozvěna, která indikuje překážku,
prozkoumáním přilehlého směru se ukáže, že cesta je ve skutečnosti volná.*

Při vícenásobném měření mohou být strategie postaveny také na skutečnosti, že kromě zón detekce, které odhalí překážku, může také zóna detekce poskytnout informace o tom, kde se vyskytují falešné detekce. Kombinací těchto dvou informací můžeme značně zpřesnit odhad skutečného umístění objektu. Na obrázku můžete vidět grafické znázornění výsledků vícenásobného čtení sonaru. Jak se dalo očekávat, detekovaný objekt vytváří akustické odrazy při více měřeních. Každé ze samostatných měření pouze zaznamená vzdálenost překážky, ale nikoli její přesný směr, takže nevíme, zda by jízda tímto směrem nezpůsobila kolizi. Víme jen, že ke kolizi může dojít. Když bude obrázek zóny detekce superponován (položen) na trajektorii, která byla označena jako volná, samozřejmě zjistíte, že sousední trajektorie, ve kterých byly indikovány možné překážky, jsou ve skutečnosti také volné.

Nápad prozkoumat sousední trajektorie, jestli je aktuální trajektorie bezpečná, i když měření ukazuje blízkou překážku, je zajisté zajímavý. Plné využití informací poskytovaných sonarem vyžaduje znalost trigonometrie, přijatelně složitý algoritmus detekce a vyhýbání lze však vytvořit i pomocí jednoduchých pravidel: Vzpomeňme, že zhruba v prvních dvou metrech, protože jsou objekty dále, je zóna detekce širší. To znamená, že čím dále objekt je, tím je pravděpodobnější, že odraz neindikuje kolizní směr. A zároveň, čím dále objekt je, tím širší je

„bezpečná zóna“ sousední trajektorie, která neukazuje žádné překážky. Pokud budeme místo 55 stupňů rozevření ultrazvukového paprsku počítat jen se čtyřicetistupňovým rozevřením, pak pro zónu detekce vzdálenější než jeden metr můžeme předpokládat, že volný prostor bez detekovaných překážek se zvětšuje od osy paprsku o 3,4 cm na každou stranu s každými přibývajícími 10 cm vzdálenosti od senzoru.

Uvažujme například robot o šířce 15 cm.

- Pokud měření podél aktuální trajektorie ukazuje překážku ve vzdálenosti menší než 30 centimetrů, považujte danou trajektorii za neprůjezdnou.
- Pokud měření podél aktuální trajektorie ukazuje překážku ve vzdálenosti 30 až 50 centimetrů, pak by sousední trajektorie, odkloněná o 5° na některou stranu mohla indikovat bezpečnou zónu.
- Pokud měření podél aktuální trajektorie ukazuje překážku ve vzdálenosti 50 až 70 centimetrů, pak by sousední trajektorie odkloněná o 11° na některou stranu mohla indikovat bezpečnou zónu.
- Pokud měření podél aktuální trajektorie ukazuje překážku ve vzdálenosti 70 až 90 centimetrů, pak by sousední trajektorie odkloněná o 13° na některou stranu mohla indikovat bezpečnou zónu.
- Pokud měření podél aktuální trajektorie ukazuje překážku ve vzdálenosti 90 až 110 cm, pak by sousední trajektorie odkloněná o 14° na některou stranu mohla indikovat bezpečnou zónu.

Takový způsob hledání volné cesty má proti předchozím příkladům několik výhod. Můžeme hledat mnohem vzdálenější překážky a robot by tedy měl jet mnohem plynuleji, s menším počtem korekcí svého kurzu.