

Geruchslokalisierung mit mobilen Robotern

Thomas Lochmatter, Xavier Raemy, Alcherio Martinoli

Swarm-Intelligent Systems Group, École Polytechnique Fédérale Lausanne

<http://swis.epfl.ch>

thomas.lochmatter@epfl.ch, xavier.raemy@epfl.ch, alcherio.martinoli@epfl.ch

Hunde werden aufgrund ihrer exzellenten Nase oft zur Suche von Minen, Bomben, Drogen oder verschütteten Menschen eingesetzt. Mit elektronischen Geruchssensoren könnten für solche Anwendungen bald auch mobile Roboter zum Einsatz kommen. Neben guten Geruchssensoren und passenden Robotern sind aber auch entsprechende Suchalgorithmen notwendig - und die komplexe Ausbreitung von Rauch und Duftmolekülen in der Luft macht die Suche nach Geruchsquellen zu einer grossen Herausforderung.

Gesehen haben wir sie schon alle: Hunde, die in Katastrophengebieten nach Überlebenden suchen, an der Grenze die Polizei bei der Suche nach Drogen und anderen Substanzen unterstützen oder an Bahnhöfen und Flughäfen nach einem Alarm Bomben aufspüren. Auch bei der Suche nach Minen in ehemaligen Kriegsgebieten werden Hunde (und teilweise Ratten) eingesetzt. Mit ihrer feinen Nase sind sie fähig, kleinste Mengen explosiver Stoffe zu riechen und damit die Minen zu lokalisieren. Das Trainieren der Hunde ist aber aufwändig und teuer. Ausserdem brauchen Hunde Ruhepausen und müssen von einem versierten Führer begleitet werden, was gerade bei der Suche nach explosiven Substanzen eine riskante und unangenehme Arbeit sein kann.

In Zukunft könnten mobile Roboter die Arbeit der Spürhunde übernehmen. Insbesondere für die Detektion von Sprengstoff wurden in den letzten Jahren grosse Fortschritte in der Sensortechnologie gemacht. Solche Sensoren erreichen heute beinahe die Sensitivität einer Hundenasen. Im Gegensatz zu Hunden müssen Roboter müssen von Zeit zu Zeit aufgeladen oder aufgetankt werden und sind sonst unterbrochlos und in grossen Mengen einsetzbar. Und sobald Roboter und Sensoren konfiguriert und kalibriert sind ist das System direkt einsetzbar - ein kostspieliges Training entfällt.

Turbulente Luftströmungen als Herausforderung

Mit einem guten Sensor für das gesuchte Material (Rauch, Gase, explosive Stoffe, Gerüche) ist die Arbeit aber nicht getan. Es braucht - neben einem passenden Roboter für das zu durchsuchende Gelände - auch die entsprechenden Algorithmen welche die Roboter zu den Geruchsquellen (Minen, Bomben, Lecks in Leitungen) hinführen. Aufgrund der komplizierten Ausbreitung von Molekülen in der Luft ist letzteres aber alles andere als trivial.

Die kleinen turbulenten Luftströmungen verbreiten Moleküle oder Rauchpartikel fleckenförmig in der Luft, so dass hohe Konzentrationen der gesuchten Substanz ganz nahe bei niedrigen Konzentrationen liegen, sowohl zeitlich also auch räumlich. Dies kann gut an dem Rauchschwaden eines Schornsteins beobachtet werden. In stetig

wechselnden Windverhältnissen werden die Substanzen ausserdem in verschiedene Richtungen getragen. Schliesslich gibt es Geruchsquellen die nur sporadisch Moleküle in die Luft abgeben, was die Suche zusätzlich erschwert. Bewegt sich ein Roboter durch ein solches Feld misst er die Konzentration als unregelmässig pulsierendes Signal.

Inspiration von der Biologie

Gradientensuche, also das Bewegen in Richtung der höchsten Konzentration, funktioniert daher nur sehr schlecht. Die bisher verheissungsvollsten Methoden wurden den Tieren abgeschaut: Motten beispielsweise bewegen sich zum Paaren in einem Zickzackpfad auf das Weibchen zu, welches einen spezifischen Duft ausströmen lässt. Auch Ameisen folgen in einem kleinen Zickzackpfad den Pheromonspuren zu den Futterquellen. Dieses ständige Durchqueren der Duftspur erweist sich als sehr robust, da langsam ändernde Windrichtungen die Suche nicht beeinträchtigen. Andere Tiere folgen einer spiralförmigen Kurve bis sie eine gewisse Konzentration wahrnehmen und bewegen sich dann in entgegengesetzter Windrichtung. Verlieren sie den Geruch, setzen sie erneut zu einer Spirale an. Damit nähern sie sich nach und nach der Geruchsquelle. Beide Algorithmen wurden mit mobilen Robotern bereits erfolgreich getestet. Sie erwiesen sich vor allem in Umgebungen mit einer hauptsächlichen Windrichtung als effizient.

In komplett geschlossenen Räumen wo keine hauptsächliche Windrichtung existiert können solche Algorithmen allerdings nicht eingesetzt werden. Hier drängen sich eher Algorithmen auf, die den Raum systematisch absuchen um sich ein Bild der Konzentrationsverteilung machen zu können. Anhand solcher Konzentrationskarten kann anschliessend erraten werden wo die Moleküle in den Raum eintraten. Wenn genügend Zeit und Ressourcen verfügbar sind können die gemessenen Konzentrationen über eine gewisse Zeit gemittelt werden, was die Qualität solcher Methoden verbessert.

Ein weiterer, wenn auch indirekter Ansatz zur Suche von Geruchsquellen besteht darin, einen Roboter so zu programmieren dass er dem Geruch ausweicht. Lässt man diesen Roboter während einer bestimmten Zeit so umherfahren muss man schlussendlich nur die Bereiche genauer untersuchen, welchen der Roboter ausgewichen ist.

Suche mit einem Schwarm von Robotern

Interessant wird vor allem auch der Einsatz von mehreren Robotern, die miteinander kommunizieren und kooperieren um Geruchsquellen zu finden. In diesem Bereich steckt die Forschung noch in den Kinderschuhen. In der Swarm-Intelligent Systems Group (SWIS) an der EPFL in Lausanne werden nun Experimente mit einem Schwarm von riechenden Robotern durchgeführt, die untereinander Informationen austauschen können. Als mobile Plattform werden 10 Khepera III Roboter (K-Team SA, Yverdon) eingesetzt, die von den Forschern mit je einem VOC Sensor (MicroChemical Systems SA, Corcelles), einem Rauchsensor und einem Windsensor

ausgestattet wurden. Die Luft wird mit einer kleinen Pumpe angesaugt und über den VOC Sensor oder den Rauchsensor geführt, was dem Prinzip des Riechorgans des Menschen sehr nahe kommt. Die 12 cm grossen Roboter können über ein embedded Linux gesteuert werden und mittels einem WLAN Ad-Hoc Netzwerk miteinander kommunizieren. Als Gerüche dienen alkoholische Dämpfe, aber auch Rauch oder Wasserdampf. In Zukunft werden die Experimente in einem Windtunnel der EPFL unter kontrollierbaren und wiederholbaren Windverhältnissen durchgeführt. Finanziert wird dieses Projekt vom Nationalen Forschungsschwerpunkt «Mobile Informations- und Kommunikationssysteme» (NFS MICS).

Die Algorithmen, die hier auf 10 Robotern getestet werden könnten eines Tages auf Hunderten von Robotern implementiert werden. Durch den Einsatz von mehreren Robotern wird die Lokalisation von Geruchsquellen zuverlässiger und schneller. Ist ein Roboter blockiert oder funktionsunfähig fällt dies im Gesamtsystem kaum ins Gewicht. Ausserdem zeigen Geruchssensoren durch die Herstellung bedingte kleine Unterschiede in der Sensitivität für verschiedene Stoffe. Diese Diversität kann durch den Einsatz von mehreren Robotern als Vorteil genutzt werden. Simulationen haben aber auch gezeigt dass das System durch den Austausch von Informationen zwischen Robotern verbessert werden kann. Tatsächlich können die Roboter nämlich die Konzentration an mehreren Stellen gleichzeitig messen und sich gegenseitig zu Hilfe eilen, wenn einer auf einer "heissen Fährte" ist. Gerade für Sicherheitsanwendungen wo oft jede Minute zählt erhofft man sich dadurch reale Verbesserungen.

Anwendungen in der Industrie und auf Home-Robotern

Wie eingangs dieses Artikels erwähnt, ist das Feld der potentiellen Anwendungen gross. Wo heute Hunde ihrer Nase wegen eingesetzt werden könnten eines Tages mobile Roboter die Arbeit übernehmen. In der Lebensmittelherstellung und -lagerung werden bereits heute Geruchssensoren eingesetzt, allerdings nicht auf autonomen mobilen Robotern. In einfachen Umgebungen sind aber Anwendungen mit autonomen Robotern fast in Griffnähe, auch wenn zur Zeit noch keine derartigen kommerziellen Produkte existieren. Denkbar sind in naher Zukunft beispielsweise Einsätze beim Aufspüren von Lecks in Industrieanlagen, wo für die austretende Substanz ein elektronischer Sensor existiert. Auch beim Suchen von Bomben in Gebäuden könnten solche Systeme bald parallel zu Hunden eingesetzt werden.

Anwendungen in komplexen Umgebungen (z. B. in einem Katastrophengebiet oder auf einer Lawine) erfordern noch einige Jahre Forschung im Bereich der mobilen Robotik. Schliesslich ist uns die Natur in der Bewegung in unwegsamem Gelände noch überlegen.

Interessante Anwendungen könnten auch mit dem Aufkommen von Home-Robotern entstehen. Es ist beispielsweise denkbar, dass diese Roboter die Luftqualität in der Wohnung überwachen und bei Bedarf vergammelte Speisen aus der Küche entfernen. Wo Suchhunde zu teuer sind eröffnen hier mobile Schnüffelroboter ganz neue Möglichkeiten.