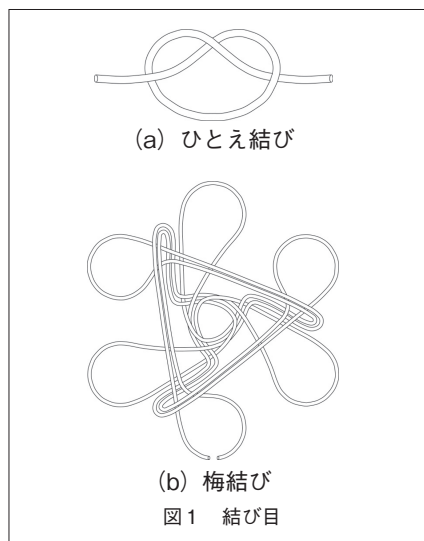


機械システムによる紐結び



はじめに

結びは、簡易かつ多様な固定方法であり、紐等の線状物体があれば、それを結ぶことによって物体の結束や締結、梱包等が可能となる。日常生活において、靴紐を結んだり、袋の口を閉じたりするのはもちろんのこと、繊維/服飾産業分野では糸の継ぎ足しや縫製に、医療分野では組織の縫合や結紮に、食品産業でも、糸コンニャクやきんちゃくの口を縛るのに結びは不可欠である。このように、結びは人間の生活と密接にかかわっている。

特定の結び目を自動的に作成する装置として、たとえば、繊維産業ではノッタ等が実用化されてはいるが、ロボティクス分野では、ロボットによる紐結びはチャレンジングなタスクとしてたびたび取り上げられている。ロボットによる紐結びの実現には、大きく分けて二つの計画が必要となる。一つは、どのような手順で結ぶか、たとえば、図1(a)のひとえ結びの場合、紐の途中で輪を作り、一端をその中に通すといった手順を決める作業計画、もう一つは、その手順を実現するための具体的なロボットハンドの軌道を求める動作計画である。

作業計画に関しては、古くから位相

幾何学の分野で研究されている結び目理論を応用することができる。結び目のある平面に投影し、一端から紐をたどって出会った交差点に順に番号をつけていく。すると、結び目は、各交差点の並び方、各交差点での上下関係、および各交差点での交差の仕方(紐の一方に対し、もう一方が左右どちらから交差するか)によって一意に表すことができる。さらに、結び目の交差点の数、あるいは並び方を変化させる基本操作も定義されており、これらにより、ある結び目が与えられれば、可能性のある作業手順を計算機により求めることができる⁽¹⁾⁽²⁾。たとえば、最も単純な結び目である図1(a)のひとえ結びはもちろんのこと、図1(b)の梅結びのように極めて複雑な結び目であっても、作業手順を求めることができる。ただし、得られた多数の手順の中から、どのような評価基準によって適切な手順を選択するかが重要となる。

動作計画に関しては、確率的ロードマップ法を用いて、紐の形状を表す配位空間内を探索し、紐先端の軌道を導出する手法等が提案されており、紐先端を把持して操作することで、ロボットによるさまざまな紐結びを実現している⁽³⁾。紐結びにおいては、多くの場合、作業の途中で紐の持ち替えが必要となる。たとえば、ひとえ結びの場合、輪に通す前後で紐を持ち替えなければならない。したがって、一般的に紐結びには複数のハンドが必要になると考えられる。しかし、輪を作った後、輪の両端に相当する2本の紐を挟んでいる指を、ひねるように動かして内外の紐を入れ替え、そのまま端側の紐を引っ張るという手法で、単腕3指ハンドでのひとえ結びを実現している研究もある⁽⁴⁾。なお、紐が計画どおりに結ばれているかをチェックし、その結果を動作計画に反映するためには、画像

認識技術、とくに、交差点での上下関係を判定する技術が必要となることは言うまでもない。

ただ、必ずしも多自由度のマニピュレータでなければ紐を結べないというわけではない。補助具を用いた紐結び手法も存在する。イメージとしては、あらかじめ結び目の形にしたホースに、紐を通すというやり方である。問題は、どうやってホースの中から結ばれた紐を取り出すかであるが、溝を掘った型の組み合わせにホースを置き換え、それを分割して取り出す方法⁽⁵⁾、ホースの側面に切れ目を入れ、そこから紐を引っ張り出すイメージで、結ばれた状態の紐を取り出すことのできるフィクスチャを用いる方法などが提案されている⁽⁶⁾。後者の場合、ロボットはフィクスチャに紐を突っ込んで引っ張り出すだけでよい。

今後、たとえば介護ロボットのように、日常生活空間においてロボットが人間をサポートする状況を考えた場合、紐結びはロボットにとってクリアすべき重要なタスクとなるかも知れない。

(原稿受付 2008年10月9日)

[若松栄史 大阪大学]

●文献

- (1) Wakamatsu, H., Arai, E. and Hirai, S., Knotting/Unknotting Manipulation of Deformable Linear Objects, *Int. J. Robotics Research*, 25-4 (2006), 371-395.
- (2) Takamatsu, J., Morita, T., Ogawara, K., Kimura, H. and Ikeuchi, K., Representation for Knot-Tying Task, *IEEE Trans. Robotics*, 22-1 (2006), 65-78.
- (3) Saha, M. and Ito, P., Manipulation Planning for Deformable Linear Objects, *IEEE Trans. Robotics*, 23-6 (2007), 1141-1150.
- (4) Yamakawa, Y., Namiki, A., Ishikawa, M. and Shimojo, M., One-Handed Knotting of a Flexible Rope with a High-Speed Multi-fingered Hand Having Tactile Sensors, *Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, (2007-10), 703-708.
- (5) 新宅教徳・喜成年泰・下川智嗣・木倉寛隆・斎藤亮太, 型を使用した結び目の形成, 日本繊維機械学会第61回年次大会, (2008-5), 96-97.
- (6) Bell, M. and Balkcom, S., Knot Tying with Single Piece Fixtures, *2008 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, (2008-5), 379-384.