

有限の状態機械を持ち、無限に描くことのできる紙があるようなもの  
実際には有限だけど無限のようにふるまう

もっとも一般的な方法

有限の長さのテープ上を移動する有限数の内部状態を持つマシン

・セルの内容を確認

→新しいものを書き込むかそのまま残す

→左または右に移動し、新しい内部状態に変化

左右に動くことは重要な機能の一つ

テープの限られた部分にのみ書き込みがあると主張することから始める

テープは白紙

- 1 どこから開始するかを伝える (時間T)
- 2 3つの関数によって指定され、それぞれが状態に依存している (T+1)

・ Qj 新しい状態

・ Sj 書き込む符号

・ D 動きの方向

※それぞれ状態 $Q_i$ と符号 $S_i$ が与えられる

完全なマシンはこれらの関数で完全に記述されている

→quintuplesと呼ばれる有限かつ巨大なルックアップリストで" $Q_i S_i Q_j S_j D$ "

ここで言うことテープに書き込んで見てもらうことによってデータを保持するだけ

- 3 停止または停止するタイミングを指示  
停止の問題は計算において深刻な問題を隠す

万能チューリングマシン (UTM)

いかなるチューリングマシンであろうともそれを模倣することが可能なチューリングマシン

模倣するものであり、単純なチューリングマシンの問題解決の動きを模倣している  
すべてのUTMは計算上同等だが、様々な方法で構築できる

入力によってUTMに模倣させる手順の説明

UTMのテープに何らかの言語で書き込む

開始、終了場所をそれぞれUTMへ教える

UTMの内部プログラムがこの情報を受け取り、元の機械を模倣する

計算結果が出力 (元のチューリングマシンの出力)

quintuplesリストといくつかの初期データを与える必要がある

特殊な場合のために変更する必要はない

UTMがUTM自身に成りすまそうとするならチューリングマシンでは解決できない幾つかの問題に気が付く

実際のチューリングマシン

- 1 もっとも単純なもののひとつ 有限状態マシンに関連している  
マシンに2進列を入力し文字列内の1の数が偶数か奇数かを通知する  
図のように入力データである2進列をテープに書き込むことから始める  
テープヘッドは文字列の左端の最初のけたにあり、マシンを $Q_0$ 状態に定義

文字列の両端以降は0で埋められている。しかし終了のために文字Eで区切られているが、文字列の一部であると想定していない

quintuplesに変換されるマシンの操作

マシンの状態により文のパリティが分かる機械

- ・マシンは偶数パリティの状態Q0から開始する
- ・Q0状態で0に到達するとQ0状態のまま1つ右へ移動
- ・Q0状態で1に到達すると0に置き換えQj状態に入って1つ右に移動
- ・Qj状態で0に到達するとQj状態のまま1つ右へ移動
- ・Qj状態で1に到達すると0におきかえQ0状態に入って一つ右へ移動

文字列を左から右へ横切るように動き、状態を変更していく

1を見つけるたびに0の文字列が残る

文字列の最後の桁を削除するときマシンがQ0状態なら偶数でQjなら奇数

最後の桁かどうかはEを読み取ったかどうかで判断する

Eを読み取ったときQ0なら0に書き換え、Qjなら1に書き換えて停止の意味を持つQhに

入る

ヘッドが指し示しているものが答えとして帰ってきている

FSMと似ていて、セルを上書きした後のヘッドの動きを決めておくことと開始条件と停止条件を組み込む必要があるという違いしかない

二つの図を見比べてもほぼ同じで同じ仕事をしている

図で対応づけられている部分と同じ部分がある

違い：開始位置を知る必要があること 外部矢印を追加している

いつ停止するかを示す必要がある 各状態に別の矢印をつけてEを読み取れるよう

に

より正確に各操作後の動きの方向も記述する必要がある

⇒移動する方向は状態にのみ依存するので状態ボックス内に書けばいい

括弧チェッカー

FSMよりもTMが優れていることを示せる

両端に記号Eをつけておく⇒文字列を表現するのに最も簡単な方法

- 1 左端から進み 右括弧になるまで左括弧を通過
- 2 右括弧をXまたは選択した記号で上書きし、1マス左へ動く
- 3 左括弧があるはずなのでXで上書き 1対のブラケットを消したことになる
- 4 ここでのXは見えていないものと扱う
- 5 再び右へ移動 Xと左括弧を通過して右括弧へ到達
- 6 Xを使って同様に処理していく
- 7 Eに到達後、EとEの間にXのみが含まれているかどうか確認
- 8 Xのみの場合1を出力、そうでない場合は0を出力して停止

サイズに関係なく簡単な手順でチェックできる

図に開始、停止、移動方向が含まれている点に注意

また、パリティカウンターと違い、左移動状態が含まれている

問題3.5単項乗数を設計 (1進法  $4=1111$ )

数値mとnを二進法し、記号Bで区切る

最終的にmnを与えるテープになる

問題3.6同ビット数の加算器（二進法）

問題3.7バイナリ乗算器用のTM

問題3.8 1?の文字列を与えると2進数に変換するTM