丘奇-图灵论题

吴　铤

2017 年 11 月 13 日

丘奇-图灵论题

丘奇-图灵论题

丘奇-图灵论题

图灵机:

图灵机:

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据;

图灵机：

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据；
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为；

图灵机:

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据;
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为;
- 存在图灵机无法解决的问题;

图灵机：

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据；
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为；
- 存在图灵机无法解决的问题；

有穷自动机与图灵机的区别：

图灵机:

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据;
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为;
- 存在图灵机无法解决的问题;

有穷自动机与图灵机的区别:

- 图灵机在带子上既能读也能写;

图灵机:

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据;
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为;
- 存在图灵机无法解决的问题;

有穷自动机与图灵机的区别:

- 图灵机在带子上既能读也能写;
- 图灵机的读写头能向左、右移动;

图灵机：

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据；
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为；
- 存在图灵机无法解决的问题；

有穷自动机与图灵机的区别：

- 图灵机在带子上既能读也能写；
- 图灵机的读写头能向左、右移动；
- 图灵机的带子无限长；

图灵机：

- 与有穷自动机相比，其有无限大的存储(带子)且可以任意访问内部数据；
- 能够模拟实际计算机的所有计算行为；
- 存在图灵机无法解决的问题；

有穷自动机与图灵机的区别：

- 图灵机在带子上既能读也能写；
- 图灵机的读写头能向左、右移动；
- 图灵机的带子无限长；
- 图灵机进入拒绝或接受状态则立即停机，否则永不停止；

定义1 (图灵机$(Q, \sum, \Gamma, \delta, q_0, q_{accept}, q_{reject})$)

定义1 (图灵机$(Q, \sum, \Gamma, \delta, q_0, q_{accept}, q_{reject})$)

- Q是状态集;

定义1 (图灵机$(Q,\sum,\Gamma,\delta,q_0,q_{accept},q_{reject})$)

- Q是状态集;
- $\sum$是输入字母表，且特殊空白符号$\sqcup \notin \sum$;

定义1 (图灵机$(Q, \sum, \Gamma, \delta, q_0, q_{accept}, q_{reject})$)

- Q是状态集;
- $\sum$是输入字母表，且特殊空白符号$\sqcup \notin \sum$;
- Γ是带字母表，其中$\sqcup \in \Gamma, \sum \subseteq \Gamma$;

定义1 (图灵机$(Q, \sum, \Gamma, \delta, q_0, q_{accept}, q_{reject})$)

- Q是状态集;
- $\sum$是输入字母表，且特殊空白符号$\sqcup \notin \sum$;
- Γ是带字母表，其中$\sqcup \in \Gamma, \sum \subseteq \Gamma$;
- $\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R\}$为转移函数:
  例如$\delta(q, a) = (r, b, L)$表示

定义1 (图灵机$(Q, \sum, \Gamma, \delta, q_0, q_{accept}, q_{reject})$)

- Q是状态集;
- $\sum$是输入字母表，且特殊空白符号$\sqcup \notin \sum$;
- Γ是带字母表，其中$\sqcup \in \Gamma, \sum \subseteq \Gamma$;
- $\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R\}$为转移函数:
  例如$\delta(q, a) = (r, b, L)$表示
  - 用b取代a并进入状态r;

定义1 (图灵机$(Q,\sum,\Gamma,\delta,q_0,q_{accept},q_{reject})$)

- Q是状态集;
- $\sum$是输入字母表，且特殊空白符号$\sqcup \notin \sum$;
- Γ是带字母表，其中$\sqcup \in \Gamma, \sum \subseteq \Gamma$;
- $\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L,R\}$为转移函数:
  例如$\delta(q,a)=(r,b,L)$表示
  - 用b取代a并进入状态r;
  - 读写头左移;

定义1 (图灵机$(Q, \sum, \Gamma, \delta, q_0, q_{accept}, q_{reject})$)

- Q是状态集;
- $\sum$是输入字母表，且特殊空白符号$\sqcup \notin \sum$;
- Γ是带字母表，其中$\sqcup \in \Gamma, \sum \subseteq \Gamma$;
- $\delta : Q \times \Gamma \to Q \times \Gamma \times \{L, R\}$为转移函数:
  例如$\delta(q, a) = (r, b, L)$表示
  - 用b取代a并进入状态r;
  - 读写头左移;
- $q_0, q_{accept}, q_{reject} \in Q$分别表示起始、接受、拒绝状态，
  且$q_{accept} \neq q_{reject}$;

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：

- 产生：

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
- 产生：

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
- 产生：

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
- 产生：

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_70111$表示：
- 产生：

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局uaq_ibv，若

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局uaq_ibv，若
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, L)$，则
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, R)$，则

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局uaq_ibv，若
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, L)$，则格局$uaq_ibv$产生
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, R)$，则格局$uaq_ibv$产生

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局$uaq_i bv$，若
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, L)$，则格局$uaq_i bv$产生$uq_j acv$
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, R)$，则格局$uaq_i bv$产生

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局uaq_ibv，若
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, L)$，则格局$uaq_ibv$产生$uq_jacv$
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, R)$，则格局$uaq_ibv$产生$uacq_jv$

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局$uaq_i bv$，若
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, L)$，则格局$uaq_i bv$产生$uq_j acv$
    - 格局$q_i bv$产生
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, R)$，则格局$uaq_i bv$产生$uacq_j v$

图灵机常用术语：

- 格局/瞬时描述：对于状态q、Γ上的字符串u, v，uqv表示
  - 当前状态为q，当前带内容为uv；
  - 读写头位于v的第一个符号，v最后符号后全为空白符
  - $1011q_7 0111$表示：
- 产生：对于格局uaq_ibv，若
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, L)$，则格局$uaq_ibv$产生$uq_jacv$
    - 格局q_ibv产生q_jcv
  - $\delta(q_i, b) = (q_j, c, R)$，则格局$uaq_ibv$产生$uacq_jv$

- 起始格局:
- 接受格局:
- 拒绝格局:
- 识别:
- M识别的语言$L(M)$:

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：
- 拒绝格局：
- 识别：
- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：
- 识别：
- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：$q_0 w$，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；
- 识别：
- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：$q_0 w$，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是停机格局
- 识别：
- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是停机格局
- 识别：如果对于输入w，存在格局序列$C_1, \cdots, C_k$，使得

- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是停机格局
- 识别：如果对于输入w，存在格局序列$C_1, \cdots, C_k$，使得
  1. C_1是图灵机M在输入w上的起始格局；

- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是停机格局
- 识别：如果对于输入w，存在格局序列$C_1, \cdots, C_k$，使得
  1. C_1是图灵机M在输入w上的起始格局；
  2. C_i产生C_{i+1}；

- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是停机格局
- 识别：如果对于输入w，存在格局序列$C_1, \cdots, C_k$，使得
  1. C_1是图灵机M在输入w上的起始格局；
  2. C_i产生C_{i+1}；
  3. C_k是接受格局
- M识别的语言$L(M)$：

- 起始格局：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- 接受格局：状态为q_{accept}；
- 拒绝格局：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是停机格局
- 识别：如果对于输入w，存在格局序列$C_1, \cdots, C_k$，使得
  1. C_1是图灵机M在输入w上的起始格局；
  2. C_i产生C_{i+1}；
  3. C_k是接受格局

  则称M识别(接受)w。
- M识别的语言$L(M)$：

- **起始格局**：q_0w，即处于起始状态q_0，读写头处于带子最左侧；
- **接受格局**：状态为q_{accept}；
- **拒绝格局**：状态为q_{reject}；接受、拒绝状态都是**停机格局**
- **识别**：如果对于输入w，存在格局序列$C_1,\cdots,C_k$，使得
  1. C_1是图灵机M在输入w上的起始格局；
  2. C_i产生C_{i+1}；
  3. C_k是接受格局

  则称M识别(接受)w。
- **M识别的语言$L(M)$**：M识别（接受）的字符串集合；

$$\{x|q_{start}x \vdash^* \alpha_1 t\alpha_2, x \in \sum^*, t \in q_{accept}, \alpha_1, \alpha \in \Gamma^*\}$$

定义2（图灵可识别）

定义3（判定器）

定义4（图灵可判定）

定义2（图灵可识别）

如果某个语言能够被某个图灵机识别，则称其是图灵可识别的或递归可枚举语言。

定义3（判定器）

定义4（图灵可判定）

定义2 (图灵可识别)

如果某个语言能够被某个图灵机识别，则称其是图灵可识别的或递归可枚举语言。

定义3 (判定器)

永不循环的图灵机被称为是判定器

定义4 (图灵可判定)

定义2 (图灵可识别)

如果某个语言能够被某个图灵机识别，则称其是图灵可识别的或递归可枚举语言。

定义3 (判定器)

永不循环的图灵机被称为是判定器

定义4 (图灵可判定)

如果某个语言能够被某个图灵机判定，则称其是图灵可判定的或递归语言。

例1 (构造语言为$L=\{0^n1^n|n\geq 1\}$的TM)

例1 (构造语言为$L=\{0^n1^n|n\geq 1\}$的TM)

基本思路:

例1 (构造语言为$L=\{0^n1^n|n\geq 1\}$的TM)

基本思路：

- 从最左侧开始，进入以下循环

例1 (构造语言为$L=\{0^n1^n|n\geq 1\}$的TM)

基本思路:

- 从最左侧开始，进入以下循环
- 循环

例1 (构造语言为$L = \{0^n1^n | n \geq 1\}$的TM)

基本思路：

- 从最左侧开始，进入以下循环
- 循环
  - 将0改成X，然后向右移动直到到达1；

例1 (构造语言为$L=\{0^n1^n|n\geq 1\}$的TM)

基本思路：

- 从最左侧开始，进入以下循环
- 循环
  - 将0改成X，然后向右移动直到到达1；
  - 将1改成Y，然后向左移动直到发现某个X；

例1 (构造语言为$L=\{0^n1^n|n\geq 1\}$的TM)

基本思路：

- 从最左侧开始，进入以下循环
- 循环
  - 将0改成X，然后向右移动直到到达1；
  - 将1改成Y，然后向左移动直到发现某个X；
  - 对于X右侧的0重复以上操作；

图灵机示例

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$　将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$　向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$　向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环
8. $\delta(q_0, Y) = (q_3, Y, R)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环
8. $\delta(q_0, Y) = (q_3, Y, R)$ 0已全改为X后遇到Y，进入q_3

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环
8. $\delta(q_0, Y) = (q_3, Y, R)$ 0已全改为X后遇到Y，进入q_3
9. $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, R)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环
8. $\delta(q_0, Y) = (q_3, Y, R)$ 0已全改为X后遇到Y，进入q_3
9. $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, R)$ 向右找␣

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环
8. $\delta(q_0, Y) = (q_3, Y, R)$ 0已全改为X后遇到Y，进入q_3
9. $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, R)$ 向右找␣
10. $\delta(q_3, ␣) = (q_4, ␣, 0)$

1. $\delta(q_0, 0) = (q_1, X, R)$ 将0改成X
2. $\delta(q_1, 0) = (q_1, 0, R)$ 向右找1
3. $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找1
4. $\delta(q_1, 1) = (q_2, Y, L)$ 将1改成Y，返回
5. $\delta(q_2, Y) = (q_2, Y, L)$
6. $\delta(q_2, 0) = (q_2, 0, L)$ 向左找X后面的0
7. $\delta(q_2, X) = (q_0, X, R)$ 遇X右移，进入状态q_0及(1)循环
8. $\delta(q_0, Y) = (q_3, Y, R)$ 0已全改为X后遇到Y，进入q_3
9. $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, R)$ 向右找␣
10. $\delta(q_3, \text{␣}) = (q_4, \text{␣}, 0)$ 0,1个数相当，接受并停机

拒绝：

拒绝:

- $\delta(q_3, 1) = (q_{reject}, 1, 0)$

拒绝：

- $\delta(q_3, 1) = (q_{reject}, 1, 0)$1的个数比0的个数多，拒绝

拒绝：

- $\delta(q_3, 1) = (q_{reject}, 1, 0)$1的个数比0的个数多，拒绝
- $\delta(q_3, 0) = (q_{reject}, 0, 0)$

拒绝:

- $\delta(q_3, 1) = (q_{reject}, 1, 0)$1的个数比0的个数多，拒绝
- $\delta(q_3, 0) = (q_{reject}, 0, 0)$1后面还有0，拒绝

拒绝:

- $\delta(q_3, 1) = (q_{reject}, 1, 0)$1的个数比0的个数多，拒绝
- $\delta(q_3, 0) = (q_{reject}, 0, 0)$1后面还有0，拒绝
- $\delta(q_1, \sqcup) = (q_{reject}, \sqcup, 0)$

拒绝:

- $\delta(q_3, 1) = (q_{reject}, 1, 0)$1的个数比0的个数多，拒绝
- $\delta(q_3, 0) = (q_{reject}, 0, 0)$1后面还有0，拒绝
- $\delta(q_1, ␣) = (q_{reject}, ␣, 0)$0的个数比1的个数多，拒绝

图灵机示例

	0	1	X	Y	␣

	0	1	X	Y	$\sqcup$
q_0	(q_1, X, R)			(q_3, Y, R)	

	0	1	X	Y	$\sqcup$
q_0	(q_1, X, R)			(q_3, Y, R)	
q_1	$(q_1, 0, R)$	(q_2, Y, L)		(q_1, Y, R)	

	0	1	X	Y	$\sqcup$
q_0	(q_1, X, R)			(q_3, Y, R)	
q_1	$(q_1, 0, R)$	(q_2, Y, L)		(q_1, Y, R)	
q_2	$(q_2, 0, L)$		(q_0, X, R)	(q_2, Y, L)	

	0	1	X	Y	$\llcorner\!\lrcorner$
q_0	(q_1, X, R)			(q_3, Y, R)	
q_1	$(q_1, 0, R)$	(q_2, Y, L)		(q_1, Y, R)	
q_2	$(q_2, 0, L)$		(q_0, X, R)	(q_2, Y, L)	
q_3				(q_3, Y, R)	$(q_4, \llcorner\!\lrcorner, R)$

	0	1	X	Y	$\sqcup$
q_0	(q_1, X, R)			(q_3, Y, R)	
q_1	$(q_1, 0, R)$	(q_2, Y, L)		(q_1, Y, R)	
q_2	$(q_2, 0, L)$		(q_0, X, R)	(q_2, Y, L)	
q_3				(q_3, Y, R)	$(q_4, \sqcup, R)$
q_4					

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash X q_1 011$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \qquad \vdash X0q_1 11$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash X q_1 011 \qquad \vdash X 0 q_1 11 \vdash X q_2 0 Y 1$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \qquad \vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1$$
$$\vdash q_2 X0Y1$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \qquad \vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1$$
$$\vdash q_2 X0Y1 \vdash Xq_0 0Y1$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \qquad \vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1$$
$$\vdash q_2 X0Y1 \vdash Xq_0 0Y1 \qquad \vdash XXq_1 Y1$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$
\begin{aligned}
q_0 0011 &\vdash X q_1 011 &&\vdash X0 q_1 11 \vdash X q_2 0Y1 \\
&\vdash q_2 X0Y1 \vdash X q_0 0Y1 &&\vdash XX q_1 Y1 \vdash XXY q_1 1
\end{aligned}
$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1$$
$$\vdash q_2 X0Y1 \vdash Xq_0 0Y1 \vdash XXq_1 Y1 \vdash XXYq_1 1$$
$$\vdash XXq_2 YY$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1$$
$$\vdash q_2 X0Y1 \vdash Xq_0 0Y1 \vdash XXq_1 Y1 \vdash XXYq_1 1$$
$$\vdash XXq_2 YY \vdash Xq_2 XYY$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$
\begin{aligned}
q_0 0011 &\vdash Xq_1 011 & &\vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1 \\
\vdash q_2 X0Y1 &\vdash Xq_0 0Y1 & &\vdash XXq_1 Y1 \vdash XXYq_1 1 \\
\vdash XXq_2 YY &\vdash Xq_2 XYY & &\vdash XXq_0 YY
\end{aligned}
$$

考虑初始格局为$q_0 0011$：

$$\begin{aligned} q_0 0011 &\vdash Xq_1 011 & &\vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1 \\ &\vdash q_2 X0Y1 \vdash Xq_0 0Y1 & &\vdash XXq_1 Y1 \vdash XXYq_1 1 \\ &\vdash XXq_2 YY \vdash Xq_2 XYY & &\vdash XXq_0 YY \vdash XXYq_3 Y \end{aligned}$$

考虑初始格局为$q_0 0011$:

$$q_0 0011 \vdash Xq_1 011 \vdash X0q_1 11 \vdash Xq_2 0Y1$$
$$\vdash q_2 X0Y1 \vdash Xq_0 0Y1 \vdash XXq_1 Y1 \vdash XXYq_1 1$$
$$\vdash XXq_2 YY \vdash Xq_2 XYY \vdash XXq_0 YY \vdash XXYq_3 Y$$
$$\vdash XXYYq_3 \sqcup$$

考虑初始格局为$q_0 0011$:

$$
\begin{aligned}
q_0 0011 &\vdash X q_1 011 && \vdash X 0 q_1 11 \vdash X q_2 0 Y 1 \\
\vdash q_2 X 0 Y 1 &\vdash X q_0 0 Y 1 && \vdash X X q_1 Y 1 \vdash X X Y q_1 1 \\
\vdash X X q_2 Y Y &\vdash X q_2 X Y Y && \vdash X X q_0 Y Y \vdash X X Y q_3 Y \\
\vdash X X Y Y q_3 \sqcup &\vdash X X Y Y q_4 \sqcup
\end{aligned}
$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010 \vdash X q_1 010$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010 \vdash Xq_1 010 \qquad \vdash X0q_1 10$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010 \vdash X q_1 010 \qquad \vdash X0q_1 10 \vdash X q_2 0Y0$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010 \vdash Xq_1 010 \quad \vdash X0q_1 10 \vdash Xq_2 0Y0$$
$$\vdash q_2 X0Y0$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010 \vdash Xq_1 010 \quad \vdash X0q_1 10 \vdash Xq_2 0Y0$$
$$\vdash q_2 X0Y0 \vdash Xq_0 0Y0$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

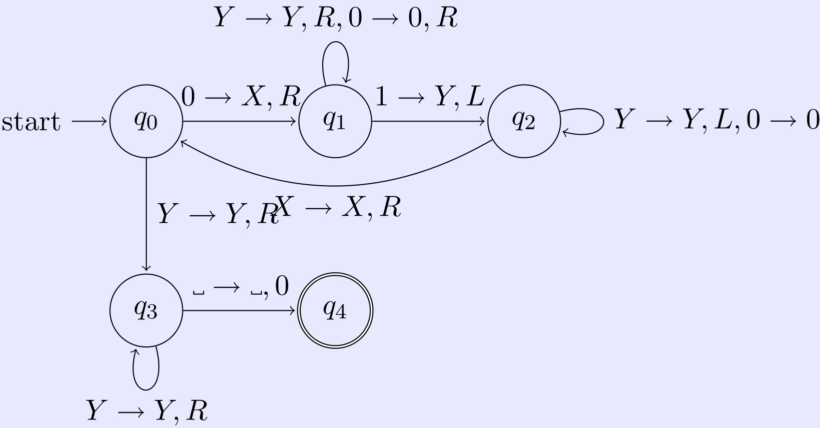
$$q_0 0010 \vdash Xq_1 010 \quad \vdash X0q_1 10 \vdash Xq_2 0Y0$$
$$\vdash q_2 X0Y0 \vdash Xq_0 0Y0 \quad \vdash XXq_1 Y0$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$q_0 0010 \vdash Xq_1 010 \vdash X0q_1 10 \vdash Xq_2 0Y0$$
$$\vdash q_2 X0Y0 \vdash Xq_0 0Y0 \vdash XXq_1 Y0 \vdash XXYq_1 0$$

考虑初始格局为$q_0 0010$:

$$
\begin{aligned}
q_0 0010 \vdash X q_1 010 \quad &\vdash X0q_1 10 \vdash Xq_2 0Y0 \\
\vdash q_2 X0Y0 \vdash Xq_0 0Y0 \quad &\vdash XXq_1 Y0 \vdash XXYq_1 0 \\
\vdash XXY0q_1 \sqcup &
\end{aligned}
$$


$Y \to Y, R, 0 \to 0, R$
$0 \to X, R$
$1 \to Y, L$
start
q_0
q_1
q_2
$Y \to Y, L, 0 \to 0$
$Y \to Y, R$
$X \to X, R$
q_3
$␣ \to ␣, 0$
q_4
$Y \to Y, R$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X

例2 (构造语言为$\{a^nb^{n+1}c^{n+2}|n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$ 将b改写为Y

例2 (构造语言为$\{a^nb^{n+1}c^{n+2}|n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$　将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$　向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$　向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$　将b改写为Y
- $\delta(q_2, b) = (q_2, b, R)$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$ 将b改写为Y
- $\delta(q_2, b) = (q_2, b, R)$ 向右找c

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$ 将b改写为Y
- $\delta(q_2, b) = (q_2, b, R)$ 向右找c
- $\delta(q_2, Z) = (q_2, Z, R)$

例2 (构造语言为$\{a^nb^{n+1}c^{n+2}|n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$ 将b改写为Y
- $\delta(q_2, b) = (q_2, b, R)$ 向右找c
- $\delta(q_2, Z) = (q_2, Z, R)$ 向右找c

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$ 将b改写为Y
- $\delta(q_2, b) = (q_2, b, R)$ 向右找c
- $\delta(q_2, Z) = (q_2, Z, R)$ 向右找c
- $\delta(q_2, c) = (q_3, Z, L)$

例2 (构造语言为$\{a^n b^{n+1} c^{n+2} | n \geq 0\}$的TM)

- $\delta(q_0, a) = (q_1, X, R)$ 将a改写为X
- $\delta(q_1, a) = (q_1, a, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, Y) = (q_1, Y, R)$ 向右找b
- $\delta(q_1, b) = (q_2, Y, R)$ 将b改写为Y
- $\delta(q_2, b) = (q_2, b, R)$ 向右找c
- $\delta(q_2, Z) = (q_2, Z, R)$ 向右找c
- $\delta(q_2, c) = (q_3, Z, L)$ 将c改写为Z，返回

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$ 同上

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$ 同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$ 同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$ 同上

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$ 同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$ 同上
- $\delta(q_3, X) = (q_0, X, R)$

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$ 同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$ 同上
- $\delta(q_3, X) = (q_0, X, R)$ 遇X后进入q_0，转入前述的循环

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$　向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$　同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$　同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$　同上
- $\delta(q_3, X) = (q_0, X, R)$　遇X后进入q_0，转入前述的循环
- $\delta(q_0, Y) = (q_4, Y, R)$

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$　向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$　同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$　同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$　同上
- $\delta(q_3, X) = (q_0, X, R)$　遇X后进入q_0，转入前述的循环
- $\delta(q_0, Y) = (q_4, Y, R)$　开始处理多余的b, c

- $\delta(q_3, Z) = (q_3, Z, L)$ 向左找X后的a
- $\delta(q_3, b) = (q_3, b, L)$ 同上
- $\delta(q_3, Y) = (q_3, Y, L)$ 同上
- $\delta(q_3, a) = (q_3, a, L)$ 同上
- $\delta(q_3, X) = (q_0, X, R)$ 遇X后进入q_0，转入前述的循环
- $\delta(q_0, Y) = (q_4, Y, R)$ 开始处理多余的b, c
- $\delta(q_4, Y) = (q_4, Y, R)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$ 找c

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$　遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$　找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$ 找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$ 遇到第一c，正常，进入q_6

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$ 找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$ 遇到第一c，正常，进入q_6
- $\delta(q_6, c) = (q_7, c, R)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$　遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$　找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$　遇到第一c，正常，进入q_6
- $\delta(q_6, c) = (q_7, c, R)$　遇到cc，进入q_7

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$ 找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$ 遇到第一c，正常，进入q_6
- $\delta(q_6, c) = (q_7, c, R)$ 遇到cc，进入q_7
- $\delta(q_7, ␣) = (q_8, ␣, 0)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$　遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$　找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$　遇到第一c，正常，进入q_6
- $\delta(q_6, c) = (q_7, c, R)$　遇到cc，进入q_7
- $\delta(q_7, \llcorner\!\lrcorner) = (q_8, \llcorner\!\lrcorner, 0)$　接受并停机

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$ 找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$ 遇到第一c，正常，进入q_6
- $\delta(q_6, c) = (q_7, c, R)$ 遇到cc，进入q_7
- $\delta(q_7, \text{␣}) = (q_8, \text{␣}, 0)$ 接受并停机
- $\delta(q_0, b) = (q_5, b, R)$

- $\delta(q_4, b) = (q_5, b, R)$ 遇到第一个b，正常，进入q_5
- $\delta(q_5, Z) = (q_5, Z, R)$ 找c
- $\delta(q_5, c) = (q_6, c, R)$ 遇到第一c，正常，进入q_6
- $\delta(q_6, c) = (q_7, c, R)$ 遇到cc，进入q_7
- $\delta(q_7, \sqcup) = (q_8, \sqcup, 0)$ 接受并停机
- $\delta(q_0, b) = (q_5, b, R)$ 处理$n = 0$情况

例3 (判定$A=\{0^{2^n}|n\geq 0\}$的TM)

例3 (判定$A=\{0^{2^n}|n\geq 0\}$的TM)

基本思路:

例3 (判定$A = \{0^{2^n} | n \geq 0\}$的TM)

基本思路:

1. 从左至右扫描，隔1个字符消去1个0;

例3 (判定$A=\{0^{2^n}|n\geq 0\}$的TM)

基本思路:

1. 从左至右扫描，隔1个字符消去1个0;
2. 如果步骤1后，带子上只剩余1个0，则接受;

例3 (判定$A = \{0^{2^n} | n \geq 0\}$的TM)

基本思路:

1. 从左至右扫描，隔1个字符消去1个0;
2. 如果步骤1后，带子上只剩余1个0，则接受;
3. 如果步骤1后，带子上0的个数是不等于1的奇数，则拒绝;

例3 (判定$A=\{0^{2^n}|n\geq 0\}$的TM)

基本思路:

1. 从左至右扫描，隔*1*个字符消去*1*个*0*;
2. 如果步骤*1*后，带子上只剩余*1*个*0*，则接受;
3. 如果步骤*1*后，带子上*0*的个数是不等于*1*的奇数，则拒绝;
4. 读写头回到带子最左侧;

例3 (判定$A=\{0^{2^n}|n\geq 0\}$的TM)

基本思路:

1. 从左至右扫描，隔*1*个字符消去*1*个*0*;
2. 如果步骤*1*后，带子上只剩余*1*个*0*，则接受;
3. 如果步骤*1*后，带子上*0*的个数是不等于*1*的奇数，则拒绝;
4. 读写头回到带子最左侧;
5. 返回步骤*1*;

图灵机示例

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 ␣$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to ␣, R} q_2$

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \llcorner$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \llcorner, R} q_2$
- $\llcorner q_2 u v$：

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \sqcup$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \sqcup, R} q_2$
- $\sqcup q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \sqcup$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \sqcup, R} q_2$
- $\sqcup q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$
  - 若$u = \sqcup$，则接受，即$q_2 \xrightarrow{\sqcup \to R} q_{accept}$

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0\textvisiblespace$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \textvisiblespace, R} q_2$
- $\textvisiblespace q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$
  - 若$u = \textvisiblespace$，则接受，即$q_2 \xrightarrow{\textvisiblespace \to R} q_{accept}$
  - 若$u = x$，则读写头右移，即$q_2 \xrightarrow{x \to R} q_2$

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \sqcup$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \sqcup, R} q_2$
- $\sqcup q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$
  - 若$u = \sqcup$，则接受，即$q_2 \xrightarrow{\sqcup \to R} q_{accept}$
  - 若$u = x$，则读写头右移，即$q_2 \xrightarrow{x \to R} q_2$
- xq_3uv:

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \sqcup$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \sqcup, R} q_2$
- $\sqcup q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$
  - 若$u = \sqcup$，则接受，即$q_2 \xrightarrow{\sqcup \to R} q_{accept}$
  - 若$u = x$，则读写头右移，即$q_2 \xrightarrow{x \to R} q_2$
- $xq_3 uv$:
  - 若$u = x$，则右移，即$q_3 \xrightarrow{x \to R} q_3$

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \sqcup$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \sqcup, R} q_2$
- $\sqcup q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$
  - 若$u = \sqcup$，则接受，即$q_2 \xrightarrow{\sqcup \to R} q_{accept}$
  - 若$u = x$，则读写头右移，即$q_2 \xrightarrow{x \to R} q_2$
- $xq_3 uv$:
  - 若$u = x$，则右移，即$q_3 \xrightarrow{x \to R} q_3$
  - 若$u = 0$，则右移，即$q_3 \xrightarrow{0 \to R} q_4$

- 初始状态$q_1 0 \cdots 0 \sqcup$：设定左端点$q_1 \xrightarrow{0 \to \sqcup, R} q_2$
- $\sqcup q_2 uv$：
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_2 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$
  - 若$u = \sqcup$，则接受，即$q_2 \xrightarrow{\sqcup \to R} q_{accept}$
  - 若$u = x$，则读写头右移，即$q_2 \xrightarrow{x \to R} q_2$
- $x q_3 uv$:
  - 若$u = x$，则右移，即$q_3 \xrightarrow{x \to R} q_3$
  - 若$u = 0$，则右移，即$q_3 \xrightarrow{0 \to R} q_4$
  - 若$u = \sqcup$，则左移，即$q_3 \xrightarrow{\sqcup \to L} q_5$

图灵机示例

- $0q_4uv$:

- $0q_4uv$:
  - 若$u=0$，则消除0，即$q_4 \xrightarrow{0\to x,R} q_3$;

- $0q_4uv$:
  - 若$u=0$，则消除0，即$q_4 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$;
  - 若$u=x$，则右移，即$q_4 \xrightarrow{x \to R} q_4$;

- $0q_4uv$:
  - 若$u=0$，则消除0，即$q_4 \xrightarrow{0\to x,R} q_3$;
  - 若$u=x$，则右移，即$q_4 \xrightarrow{x\to R} q_4$;
  - 若$u=\sqcup$，则表明留有奇数个0，拒绝，即$q_4 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_{reject}$

- $0q_4uv$:
  - 若$u = 0$，则消除0，即$q_4 \xrightarrow{0 \to x, R} q_3$;
  - 若$u = x$，则右移，即$q_4 \xrightarrow{x \to R} q_4$;
  - 若$u = \textvisiblespace$，则表明留有奇数个0，拒绝，即$q_4 \xrightarrow{\textvisiblespace \to R} q_{reject}$
- $uq_5v\textvisiblespace$:

- $0q_4uv$:
  - 若$u=0$，则消除0，即$q_4 \xrightarrow{0\to x,R} q_3$;
  - 若$u=x$，则右移，即$q_4 \xrightarrow{x\to R} q_4$;
  - 若$u=\sqcup$，则表明留有奇数个0，拒绝，即$q_4 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_{reject}$
- $uq_5v\sqcup$:
  - 若$u=0,x$，则左移，即$q_5 \xrightarrow{0\to L,x\to L} q_5$;

- $0q_4uv$:
  - 若$u=0$，则消除0，即$q_4 \xrightarrow{0\to x,R} q_3$;
  - 若$u=x$，则右移，即$q_4 \xrightarrow{x\to R} q_4$;
  - 若$u=\sqcup$，则表明留有奇数个0，拒绝，即$q_4 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_{reject}$
- $uq_5v\sqcup$:
  - 若$u=0,x$，则左移，即$q_5 \xrightarrow{0\to L, x\to L} q_5$;
  - 若$u=\sqcup$，则右移重新开始，即$q_5 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_2$

$$q_1 0000 \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash$$

图灵机示例

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \qquad \sqcup x q_3 00 \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \qquad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash$$

图灵机示例

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash$$

图灵机示例

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash$$

图灵机示例

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x x x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x x x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x x x \sqcup \vdash$$

图灵机示例

$$
\begin{array}{lll}
q_1 0000 \vdash ␣q_2 000 \vdash & ␣x q_3 00 \vdash ␣x 0 q_4 0 \vdash & ␣x 0 x q_3 ␣ \vdash ␣x 0 q_5 x ␣ \vdash \\
␣x q_5 0 x ␣ \vdash ␣q_5 x 0 x ␣ \vdash & q_5 ␣x 0 x ␣ \vdash ␣q_2 x 0 x ␣ \vdash & ␣x q_2 0 x ␣ \vdash ␣x x q_3 x ␣ \vdash \\
␣x x x q_3 ␣ \vdash ␣x x q_5 x ␣ \vdash & ␣x q_5 x x ␣ \vdash ␣q_5 x x x ␣ \vdash & q_5 ␣x x x ␣ \vdash ␣q_2 x x x ␣ \vdash
\end{array}
$$

图灵机示例

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \qquad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \qquad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \qquad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \qquad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \qquad \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x x x \sqcup \vdash \qquad q_5 \sqcup x x x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x x x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_2 x x \sqcup \vdash$$

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x x x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x x x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x x x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_2 x x \sqcup \vdash \sqcup x x q_2 x \sqcup \vdash$$

图灵机示例

$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \quad \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \quad \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x x x \sqcup \vdash \quad q_5 \sqcup x x x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x x x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_2 x x \sqcup \vdash \sqcup x x q_2 x \sqcup \vdash \quad \sqcup x x x q_2 \sqcup \vdash$$

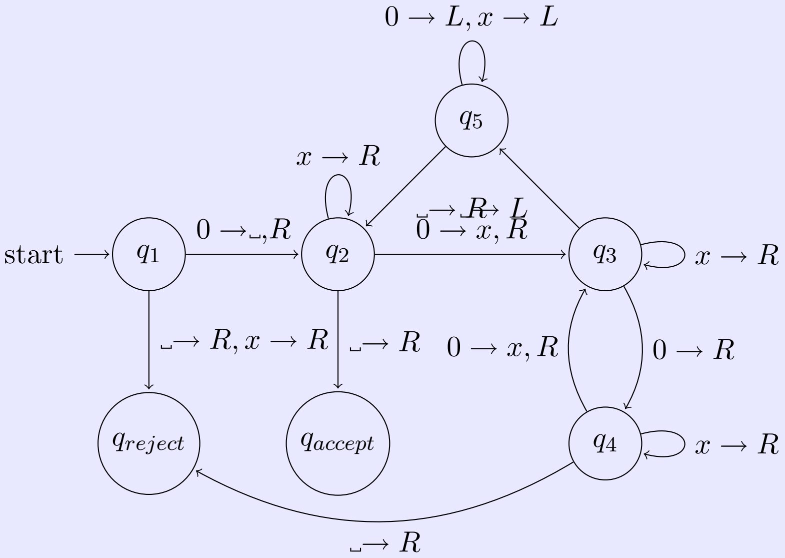
$$q_1 0000 \vdash \sqcup q_2 000 \vdash \sqcup x q_3 00 \vdash \sqcup x 0 q_4 0 \vdash \sqcup x 0 x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x 0 q_5 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_5 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x 0 x \sqcup \vdash q_5 \sqcup x 0 x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x 0 x \sqcup \vdash \sqcup x q_2 0 x \sqcup \vdash \sqcup x x q_3 x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x x x q_3 \sqcup \vdash \sqcup x x q_5 x \sqcup \vdash \sqcup x q_5 x x \sqcup \vdash \sqcup q_5 x x x \sqcup \vdash q_5 \sqcup x x x \sqcup \vdash \sqcup q_2 x x x \sqcup \vdash$$

$$\sqcup x q_2 x x \sqcup \vdash \sqcup x x q_2 x \sqcup \vdash \sqcup x x x q_2 \sqcup \vdash \sqcup x x x \sqcup q_{accept}$$

图灵机示例


start
q_1
q_2
q_3
q_4
q_5
q_{reject}
q_{accept}
$0 \rightarrow \sqcup, R$
$x \rightarrow R$
$0 \rightarrow L, x \rightarrow L$
$\sqcup \rightarrow R, \sqcup \rightarrow L$
$0 \rightarrow x, R$
$x \rightarrow R$
$\sqcup \rightarrow R, x \rightarrow R$
$\sqcup \rightarrow R$
$0 \rightarrow x, R$
$0 \rightarrow R$
$x \rightarrow R$
$\sqcup \rightarrow R$

例4 (判定$A = \{w\#w | w \in \{0,1\}^*\}$的TM)

例4 (判定$A = \{w\#w | w \in \{0,1\}^*\}$的TM)

基本思路：对于输入字符串

例4 (判定$A = \{w\#w | w \in \{0,1\}^*\}$的TM)

基本思路：对于输入字符串

- 在#两边对应位置来回移动，检查这些对应位置符号是否相同

例4 (判定$A=\{w\#w|w\in\{0,1\}^*\}$的TM)

基本思路：对于输入字符串

- 在#两边对应位置来回移动，检查这些对应位置符号是否相同
    - 如果不是，或者没有#，则拒绝；

例4 (判定$A=\{w\#w|w\in\{0,1\}^*\}$的TM)

基本思路：对于输入字符串

- 在#两边对应位置来回移动，检查这些对应位置符号是否相同
  - 如果不是，或者没有#，则拒绝；
  - 消去所有检查过的符号；

例4 (判定$A = \{w\#w | w \in \{0,1\}^*\}$的TM)

基本思路：对于输入字符串

- 在#两边对应位置来回移动，检查这些对应位置符号是否相同
  - 如果不是，或者没有#，则拒绝；
  - 消去所有检查过的符号；
- 当#左侧所有符号都被消去时，检查#右侧是否还有符号。如果有就拒绝，否则接受。

对于初始状态q_1：

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0 \rightarrow x, R} q_2$

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0\to x,R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{0,1\to R} q_2$

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0\rightarrow x,R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{0,1\rightarrow R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{\text{␣}\rightarrow R} q_{reject}$

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0\rightarrow x,R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{0,1\rightarrow R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{\sqcup\rightarrow R} q_{reject}$
  - $q_2 \xrightarrow{\#\rightarrow R} q_4$

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0\rightarrow x,R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{0,1\rightarrow R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{\text{␣}\rightarrow R} q_{reject}$
  - $q_2 \xrightarrow{\#\rightarrow R} q_4$
  - $q_4 \xrightarrow{x\rightarrow R} q_4$

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0\to x,R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{0,1\to R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_{reject}$
  - $q_2 \xrightarrow{\#\to R} q_4$
  - $q_4 \xrightarrow{x\to R} q_4$
  - $q_4 \xrightarrow{0\to x,L} q_6$

对于初始状态q_1：

- 若读写头指向0(或1)，则
  - $q_1 \xrightarrow{0\to x,R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{0,1\to R} q_2$
  - $q_2 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_{reject}$
  - $q_2 \xrightarrow{\#\to R} q_4$
  - $q_4 \xrightarrow{x\to R} q_4$
  - $q_4 \xrightarrow{0\to x,L} q_6$
  - $q_4 \xrightarrow{\sqcup,1\to L} q_{rejcet}$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x \to L} q_6$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x \to L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\# \to L} q_7$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x \rightarrow L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\# \rightarrow L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{0,1 \rightarrow L} q_7$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x \to L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\# \to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{0,1 \to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{x \to R} q_1$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x \to L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\# \to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{0,1 \to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{x \to R} q_1$
- $q_1 \xrightarrow{\# \to R} q_8$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x \to L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\# \to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{0,1 \to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{x \to R} q_1$

- $q_1 \xrightarrow{\# \to R} q_8$
- $q_8 \xrightarrow{x \to R} q_8$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x\to L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\#\to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{0,1\to L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{x\to R} q_1$

- $q_1 \xrightarrow{\#\to R} q_8$
- $q_8 \xrightarrow{x\to R} q_8$
- $q_8 \xrightarrow{\sqcup\to R} q_{accept}$

- $q_6 \xrightarrow{0,1,x\rightarrow L} q_6$
- $q_6 \xrightarrow{\#\rightarrow L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{0,1\rightarrow L} q_7$
- $q_7 \xrightarrow{x\rightarrow R} q_1$

- $q_1 \xrightarrow{\#\rightarrow R} q_8$
- $q_8 \xrightarrow{x\rightarrow R} q_8$
- $q_8 \xrightarrow{\sqcup\rightarrow R} q_{accept}$
- $q_8 \xrightarrow{0,1\rightarrow R} q_{reject}$

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}\sqcup$。

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}$␣。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\leq y \end{cases} \text{其中} x,y\geq 1$$

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}$␣。

$$f(x,y)=\begin{cases}x-y & x>y\\ 0 & x\le y\end{cases}\text{其中}x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成␣:

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}$␣。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\le y \end{cases} \text{其中} x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成␣：$\delta(q_0,0)=(q_1,␣,R)$

图灵机的“计算功能”：由输入$0^x 10^y$得到$0^{f(x,y)}\sqcup$。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\le y \end{cases} \text{其中} x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成$\sqcup$：$\delta(q_0,0)=(q_1,\sqcup,R)$
- 向右侧找1，找到后进入状态q_2：

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}\sqcup$。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\le y \end{cases} \text{其中} x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成$\sqcup$：$\delta(q_0,0)=(q_1,\sqcup,R)$
- 向右侧找1，找到后进入状态q_2：

$$\delta(q_1,0)=(q_1,0,R)$$

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}\sqcup$。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\leq y \end{cases} \text{其中} x,y\geq 1$$

- 将左侧的0变成$\sqcup$：$\delta(q_0,0)=(q_1,\sqcup,R)$
- 向右侧找1，找到后进入状态q_2：

$$\delta(q_1,0)=(q_1,0,R)\quad \delta(q_1,1)=(q_2,1,R)$$

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}\sqcup$。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\le y \end{cases} \text{其中} x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成$\sqcup$：$\delta(q_0,0)=(q_1,\sqcup,R)$
- 向右侧找1，找到后进入状态q_2：

$$\delta(q_1,0)=(q_1,0,R)\quad \delta(q_1,1)=(q_2,1,R)$$

- 将1后面的第一个0变为1，并返回：

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}␣$。

$$f(x,y)=\begin{cases} x-y & x>y \\ 0 & x\le y \end{cases} \text{其中} x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成␣：$\delta(q_0,0)=(q_1,␣,R)$
- 向右侧找1，找到后进入状态q_2：

$$\delta(q_1,0)=(q_1,0,R) \quad \delta(q_1,1)=(q_2,1,R)$$

- 将1后面的第一个0变为1，并返回：

$$\delta(q_2,0)=(q_3,1,L)$$

图灵机的“计算功能”：由输入0^x10^y得到$0^{f(x,y)}\sqcup$。

$$f(x,y)=\begin{cases}x-y & x>y\\ 0 & x\le y\end{cases}\ \text{其中} x,y\ge 1$$

- 将左侧的0变成$\sqcup$：$\delta(q_0,0)=(q_1,\sqcup,R)$
- 向右侧找1，找到后进入状态q_2：

$$\delta(q_1,0)=(q_1,0,R)\quad \delta(q_1,1)=(q_2,1,R)$$

- 将1后面的第一个0变为1，并返回：

$$\delta(q_2,0)=(q_3,1,L)\quad \delta(q_2,1)=(q_2,1,R)$$

图灵机示例

- 向左寻找空白符

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3, 1) = (q_3, 1, L)$$

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3, 1) = (q_3, 1, L) \quad \delta(q_3, 0) = (q_3, 0, L)$$

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3, 1) = (q_3, 1, L) \quad \delta(q_3, 0) = (q_3, 0, L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x > y)$:

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3, 1) = (q_3, 1, L) \quad \delta(q_3, 0) = (q_3, 0, L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x > y)$:$\delta(q_3, \text{␣}) = (q_0, \text{␣}, R)$

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3, 1) = (q_3, 1, L) \quad \delta(q_3, 0) = (q_3, 0, L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x > y)$:$\delta(q_3, \llcorner\!\lrcorner) = (q_0, \llcorner\!\lrcorner, R)$
- 1右侧没有0:

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3,1)=(q_3,1,L)\quad \delta(q_3,0)=(q_3,0,L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x>y)$:$\delta(q_3,\sqcup)=(q_0,\sqcup,R)$
- 1右侧没有0：$\delta(q_2,\sqcup)=(q_4,\sqcup,L)$

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3, 1) = (q_3, 1, L) \quad \delta(q_3, 0) = (q_3, 0, L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x > y)$:$\delta(q_3, \sqcup) = (q_0, \sqcup, R)$
- 1右侧没有0：$\delta(q_2, \sqcup) = (q_4, \sqcup, L)$
- 将1改成$\sqcup$:

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3,1)=(q_3,1,L)\quad \delta(q_3,0)=(q_3,0,L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x>y)$:$\delta(q_3,\llcorner\!\lrcorner)=(q_0,\llcorner\!\lrcorner,R)$
- 1右侧没有0：$\delta(q_2,\llcorner\!\lrcorner)=(q_4,\llcorner\!\lrcorner,L)$
- 将1改成$\llcorner\!\lrcorner$:$\delta(q_4,1)=(q_4,\llcorner\!\lrcorner,L)$

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3,1)=(q_3,1,L)\quad \delta(q_3,0)=(q_3,0,L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x>y)$:$\delta(q_3,\llcorner\!\lrcorner)=(q_0,\llcorner\!\lrcorner,R)$
- 1右侧没有0：$\delta(q_2,\llcorner\!\lrcorner)=(q_4,\llcorner\!\lrcorner,L)$
- 将1改成␣:$\delta(q_4,1)=(q_4,\llcorner\!\lrcorner,L)$
- $\delta(q_4,0)=(q_4,0,L)$

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3,1)=(q_3,1,L)\quad\delta(q_3,0)=(q_3,0,L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x>y)$:$\delta(q_3,\sqcup)=(q_0,\sqcup,R)$
- 1右侧没有0：$\delta(q_2,\sqcup)=(q_4,\sqcup,L)$
- 将1改成$\sqcup$:$\delta(q_4,1)=(q_4,\sqcup,L)$
- $\delta(q_4,0)=(q_4,0,L)$
- 减法结束，补上一个0:

- 向左寻找空白符

$$\delta(q_3,1)=(q_3,1,L) \quad \delta(q_3,0)=(q_3,0,L)$$

- 到达最左侧后重复以上操作$(x>y)$:$\delta(q_3,\text{␣})=(q_0,\text{␣},R)$
- 1右侧没有0：$\delta(q_2,\text{␣})=(q_4,\text{␣},L)$
- 将1改成␣:$\delta(q_4,1)=(q_4,\text{␣},L)$
- $\delta(q_4,0)=(q_4,0,L)$
- 减法结束，补上一个0：$\delta(q_4,\text{␣})=(q_6,0,R)$

图灵机示例

- 当$x \geq y$时，1左侧的0首先被消完：

- 当$x \geq y$时，1左侧的0首先被消完：$\delta(q_0, 1) = (q_5, \sqcup, R)$

- 当$x \geq y$时，1左侧的0首先被消完：$\delta(q_0, 1) = (q_5, ␣, R)$
- 将后面的0, 1全部变为␣:

- 当$x \geq y$时，1左侧的0首先被消完：$\delta(q_0, 1) = (q_5, \sqcup, R)$
- 将后面的0, 1全部变为$\sqcup$:

$$\delta(q_5, 1) = (q_5, \sqcup, R), \quad \delta(q_5, 0) = (q_5, \sqcup, R)$$

- 当$x \geq y$时，1左侧的0首先被消完：$\delta(q_0, 1) = (q_5, \text{␣}, R)$
- 将后面的0, 1全部变为␣:

$$\delta(q_5, 1) = (q_5, \text{␣}, R), \quad \delta(q_5, 0) = (q_5, \text{␣}, R)$$

- 减法结束：

- 当$x \geq y$时，1左侧的0首先被消完：$\delta(q_0, 1) = (q_5, \sqcup, R)$
- 将后面的0, 1全部变为$\sqcup$:

$$\delta(q_5, 1) = (q_5, \sqcup, R), \quad \delta(q_5, 0) = (q_5, \sqcup, R)$$

- 减法结束：$\delta(q_5, \sqcup) = (q_6, \sqcup, R)$

例5 (构造判定$C = \{a^i b^j c^k \mid i \times j = k, i, j, j \geq 1\}$的TM)

例5 (构造判定$C=\{a^ib^jc^k \mid i\times j=k, i,j,j\geq 1\}$的TM)

对于收入字符串w:

例5 (构造判定$C=\{a^ib^jc^k \mid i\times j=k, i,j,j\geq 1\}$的TM)

对于收入字符串w:

1. 从左至右扫描输入，确定其形式为$a^+b^+c^+$

例5 (构造判定$C = \{a^i b^j c^k \mid i \times j = k, i, j, j \geq 1\}$的TM)

对于收入字符串w:

1. 从左至右扫描输入，确定其形式为$a^+b^+c^+$
2. 读写头返回带子的左端点

例5 (构造判定$C = \{a^i b^j c^k \mid i \times j = k, i, j, j \geq 1\}$的TM)

对于收入字符串w:

1. 从左至右扫描输入，确定其形式为$a^+b^+c^+$
2. 读写头返回带子的左端点
3. 消去一个a，并向右扫描直到b出现。在b, c间来回移动，成对消去b, c，直至把所有b消去（如果c全部消去以后还有b，则拒绝）

例5 (构造判定$C = \{a^i b^j c^k \mid i \times j = k, i, j, j \geq 1\}$的TM)

对于收入字符串w:

1. 从左至右扫描输入，确定其形式为$a^+b^+c^+$
2. 读写头返回带子的左端点
3. 消去一个a，并向右扫描直到b出现。在b, c间来回移动，成对消去b, c，直至把所有b消去（如果c全部消去以后还有b，则拒绝）

例5 (构造判定$C = \{a^i b^j c^k \mid i \times j = k, i, j, j \geq 1\}$的TM)

对于收入字符串w:

1. 从左至右扫描输入，确定其形式为$a^+b^+c^+$
2. 读写头返回带子的左端点
3. 消去一个a，并向右扫描直到b出现。在b, c间来回移动，成对消去b, c，直至把所有b消去（如果c全部消去以后还有b，则拒绝）
4. 如果还有a未消去，则恢复所有消去的b，并重复第3步。如果所有a都已经被消去，则检查所有c是否都已经被消去。如果是则接收，否则拒绝。

多带图灵机：

- 拥有多个带子，每个带子都有读写头，用于读、写
- 开始时输入出现在第一个带子上，其他带子是空白的

即

$$\delta : Q \times \Gamma^k \to Q \times \Gamma^k \times \{L, R, S\}^k$$

$$\delta(q_i, a_1, \cdots, a_k) = (q_i, b_1, \cdots, b_k, L, R, \cdots, L)$$

定理1 (每个多带图灵机都等价于某个单带图灵机)

定理1 (每个多带图灵机都等价于某个单带图灵机)

- 单带表示多带的方法:

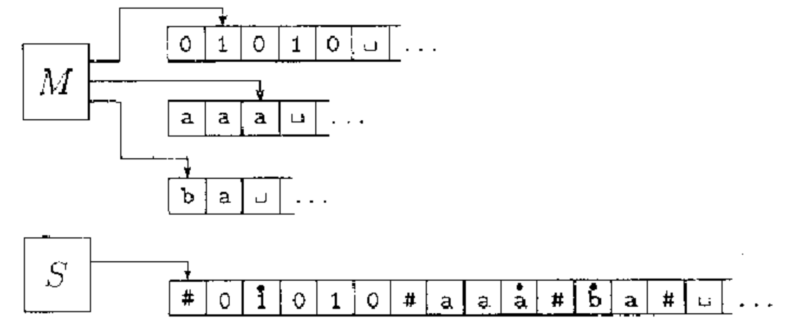
定理1 (每个多带图灵机都等价于某个单带图灵机)

- 单带表示多带的方法：
  - 用新定界符#以区分不同带子的内容；

定理1 (每个多带图灵机都等价于某个单带图灵机)

- 单带表示多带的方法：
  - 用新定界符#以区分不同带子的内容；
  - 用加点符号来记录各个读写头位置，以其作为虚拟读写头；

多带图灵机



对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

- 在自己的(单)带上放置$\# \dot{w}_1 w_2 \cdots w_n \# \dot{\sqcup} \# \dot{\sqcup} \# \cdots \#$

对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

- 在自己的(单)带上放置$\# \dot{w}_1 w_2 \cdots w_n \# \dot{\sqcup} \# \dot{\sqcup} \# \cdots \#$
- 带子的更新：

对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

- 在自己的(单)带上放置$\# \dot{w}_1\, w_2 \cdots w_n \# \dot{\sqcup} \# \dot{\sqcup} \# \cdots \#$
- 带子的更新：
  - 确定虚拟读写头下的符号：从标记左端点的第一个$\#$开始扫描，一直扫描到标记右端点的第$k+1$个$\#$；

对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

- 在自己的(单)带上放置$\# \dot{w}_1 w_2 \cdots w_n \# \dot{\sqcup} \# \dot{\sqcup} \# \cdots \#$
- 带子的更新:
  - 确定虚拟读写头下的符号：从标记左端点的第一个#开始扫描，一直扫描到标记右端点的第$k+1$个#;
  - 进行第二次扫描，并根据多带TM的转移函数更新带子;

对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

- 在自己的(单)带上放置$\# \dot{w}_1 w_2 \cdots w_n \# \dot{\sqcup} \# \dot{\sqcup} \# \cdots \#$
- 带子的更新：
  - 确定虚拟读写头下的符号：从标记左端点的第一个$\#$开始扫描，一直扫描到标记右端点的第$k+1$个$\#$；
  - 进行第二次扫描，并根据多带TM的转移函数更新带子；
- 当某个虚拟读写头向右移动到某个$\#$上时，则写下$\sqcup$。同时将后面的内容都向右移动一格，并继续模拟。

对于输入$w = w_1 w_2 \cdots w_n$

- 在自己的(单)带上放置$\# \dot{w}_1\, w_2 \cdots w_n \# \dot{\sqcup} \# \dot{\sqcup} \# \cdots \#$
- 带子的更新：
  - 确定虚拟读写头下的符号：从标记左端点的第一个#开始扫描，一直扫描到标记右端点的第$k+1$个#；
  - 进行第二次扫描，并根据多带TM的转移函数更新带子；
- 当某个虚拟读写头向右移动到某个#上时，则写下␣。同时将后面的内容都向右移动一格，并继续模拟。

推论1（某个语言是图灵可识别（可判定）的，当且仅当存在多带图灵机识别（判定）它）

非确定型图灵机：其可以在多个可能的动作中选择一个运行。

非确定型图灵机：其可以在多个可能的动作中选择一个运行。

转移函数：$\delta : Q \times \Gamma \rightarrow \mathcal{P}(Q \times \Gamma \times \{L, R\})$。

非确定型图灵机：其可以在多个可能的动作中选择一个运行。

转移函数：$\delta : Q \times \Gamma \to \mathcal{P}(Q \times \Gamma \times \{L, R\})$。

定理2 (每个非确定型图灵机等价于某个确定型图灵机)

非确定型图灵机：其可以在多个可能的动作中选择一个运行。

转移函数：$\delta : Q \times \Gamma \to \mathcal{P}(Q \times \Gamma \times \{L, R\})$。

定理2 (每个非确定型图灵机等价于某个确定型图灵机)

基本思路：测试所有可能的分支。如果能够在某个分支达到接受状态，则接受；否则不终止。

非确定型图灵机：其可以在多个可能的动作中选择一个运行。

转移函数：$\delta : Q \times \Gamma \to \mathcal{P}(Q \times \Gamma \times \{L, R\})$。

定理2 (每个非确定型图灵机等价于某个确定型图灵机)

基本思路：测试所有可能的分支。如果能够在某个分支达到接受状态，则接受；否则不终止。

对树的搜索应当采用“宽度优先”策略，而不能是“深度优先”策略。

希尔伯特第十问题：如何通过有限多次运算来判定一个多项式是否有整数解

希尔伯特第十问题：如何通过有限多次运算来判定一个多项式是否有整数解

例6 (构造判定$D_1 = \{p \mid p$是有整数解的x的多项式$\}$)

希尔伯特第十问题：如何通过有限多次运算来判定一个多项式是否有整数解

例6 (构造判定$D_1 = \{p \mid p$是有整数解的x的多项式$\}$)

- 对于输入的关于x的多项式p：

希尔伯特第十问题：如何通过有限多次运算来判定一个多项式是否有整数解

例6 (构造判定$D_1 = \{p \mid p$是有整数解的x的多项式$\}$)

- 对于输入的关于x的多项式p：
  - 对$x = 0, 1, -1, 2, -2, 3, -3, \cdots$计算$p$的值。如果$p = 0$则接受

定理3（丘奇-图灵论题）

定理3 (丘奇-图灵论题)

算法的直觉概念就等于图灵机算法。

定理3 (丘奇-图灵论题)

算法的直觉概念就等于图灵机算法。

- 用计算机模拟图灵机

定理3（丘奇-图灵论题）

算法的直觉概念就等于图灵机算法。

- 用计算机模拟图灵机
  - 以动态存储的方式开辟一维数组模拟存储带；

定理3 (丘奇-图灵论题)

算法的直觉概念就等于图灵机算法。

- 用计算机模拟图灵机
  - 以动态存储的方式开辟一维数组模拟存储带;
  - 将δ函数以矩阵形式存储;

定理3 (丘奇-图灵论题)

算法的直觉概念就等于图灵机算法。

- 用计算机模拟图灵机
  - 以动态存储的方式开辟一维数组模拟存储带；
  - 将δ函数以矩阵形式存储；
  - 编制计算机程序；