Zero-Knowledge Protocols

Abhabongse Janthong
อาภาพงศ์ จันทร์ทอง
Associate Visionary Architect, KBTG

Zero-Knowledge Protocols

HOW TO ACHIEVE A COMMUNICATION GOAL WITHOUT LEAKING JUST ANYTHING?

Abhabongse Janthong
อาภาพงศ์ จันทร์ทอง
Associate Visionary Architect, KBTG

Zero-Knowledge Protocols

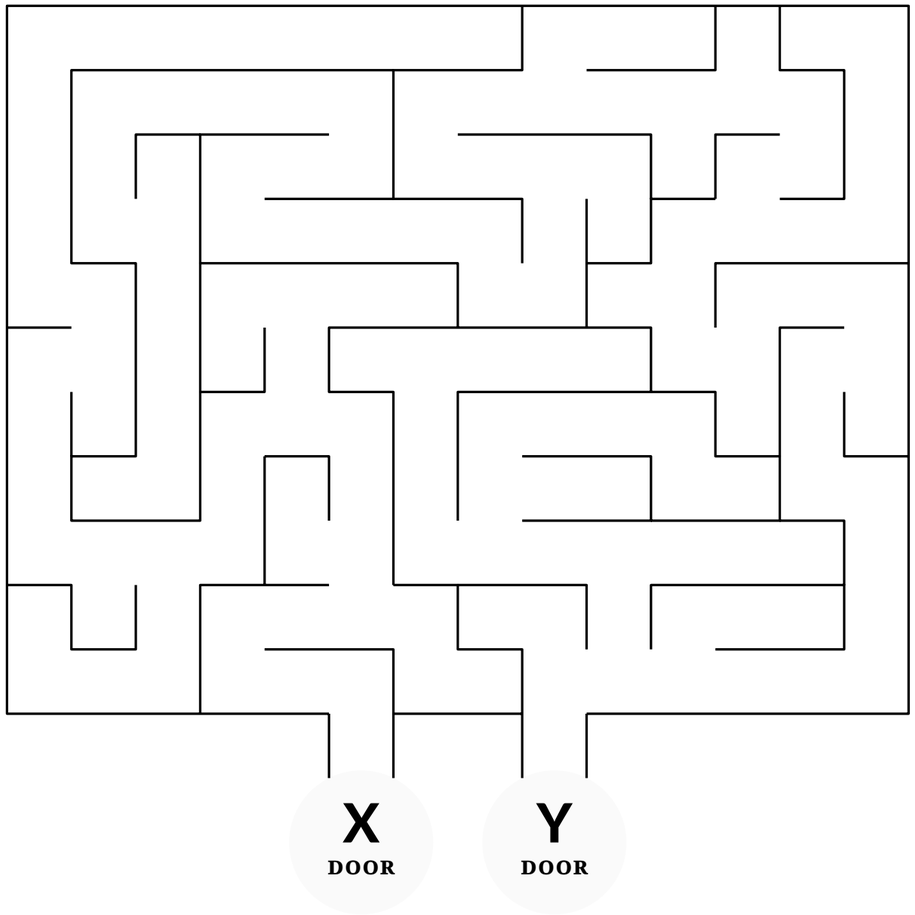
ต้องการสื่อสารเพื่อบรรลุเป้าหมายบางอย่างโดยไม่เปิดเผยอะไรนอกเหนือจากที่จำเป็น

Abhabongse Janthong
อาภาพงศ์ จันทร์ทอง
Associate Visionary Architect, KBTG

Act I

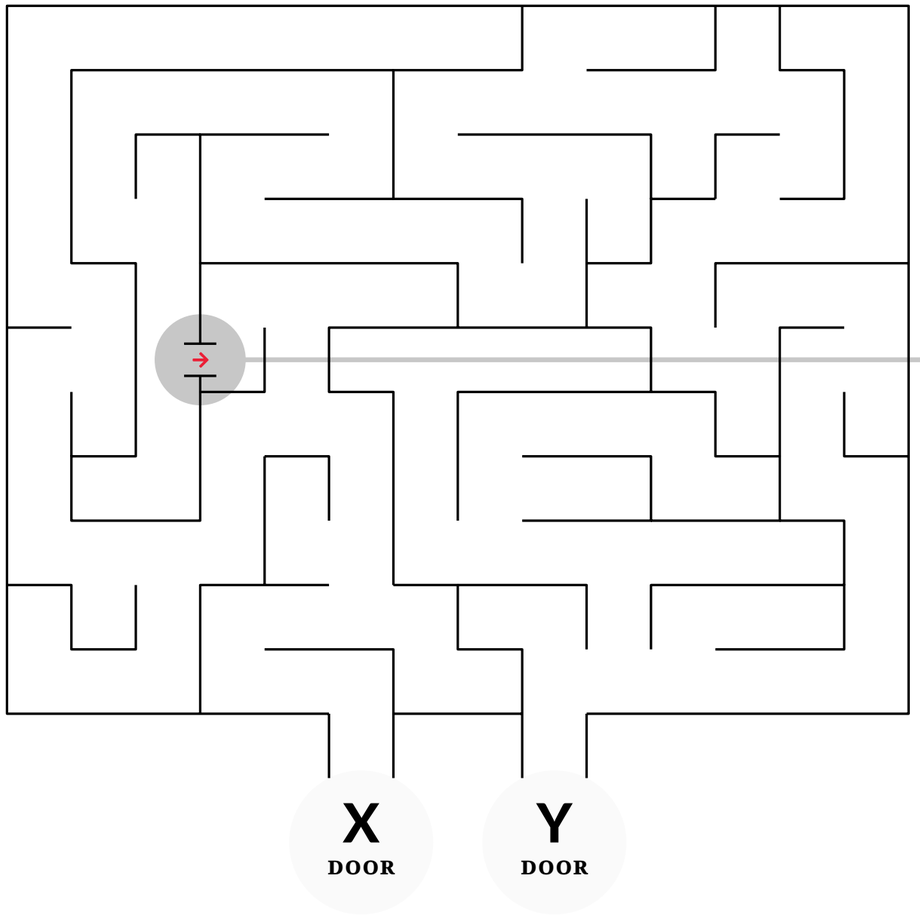
IN-DEPTH TECHNICAL DEMO

เขาวงกต ▶ โจทย์



เขาวงกตมี**ทางเข้า–ออก 2 ทาง** และมีเส้นทางภายในที่เชื่อมด้วย**กลไกปริศนา**อย่างหนึ่ง

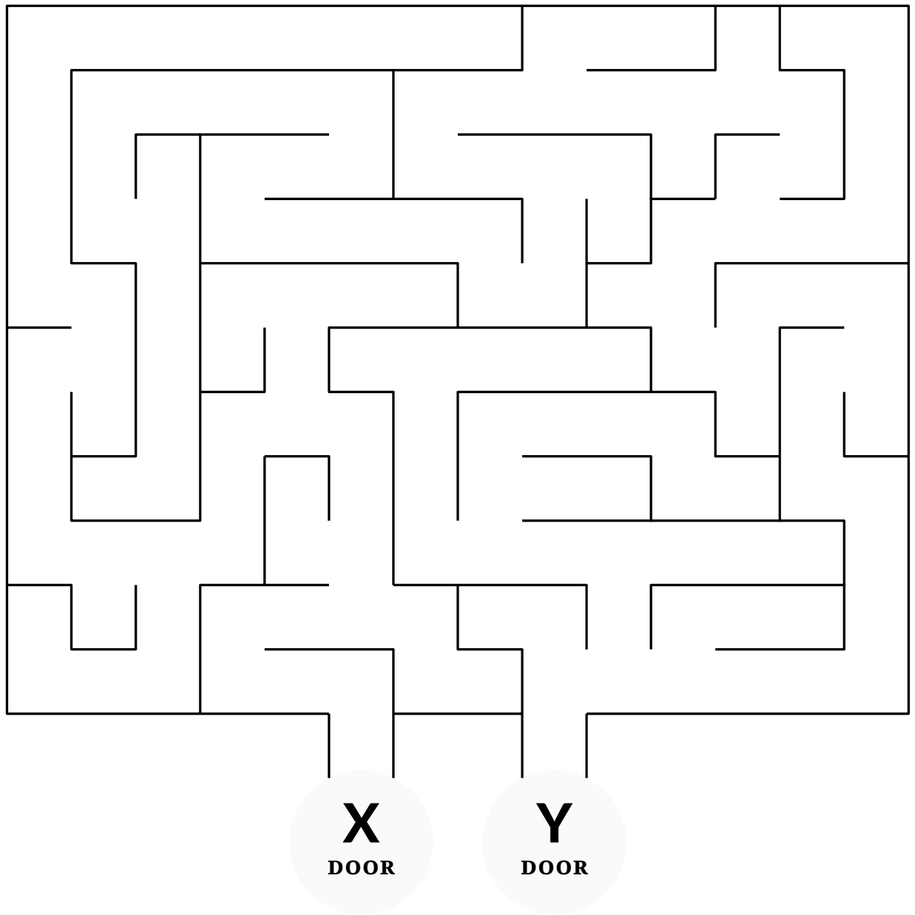
เขาวงกต ▶ โจทย์



เขาวงกตมี**ทางเข้า–ออก 2 ทาง** และมีเส้นทางภายในที่เชื่อมด้วย**กลไกปริศนา**อย่างหนึ่ง

(เช่น อาจมีประตูกลที่เปิดได้ทางเดียวซ่อนอยู่ หรือประตูที่ต้องใช้รหัสผ่านลับเพื่อเปิดใช้งาน เป็นต้น)

เขาวงกต ▶ โจทย์



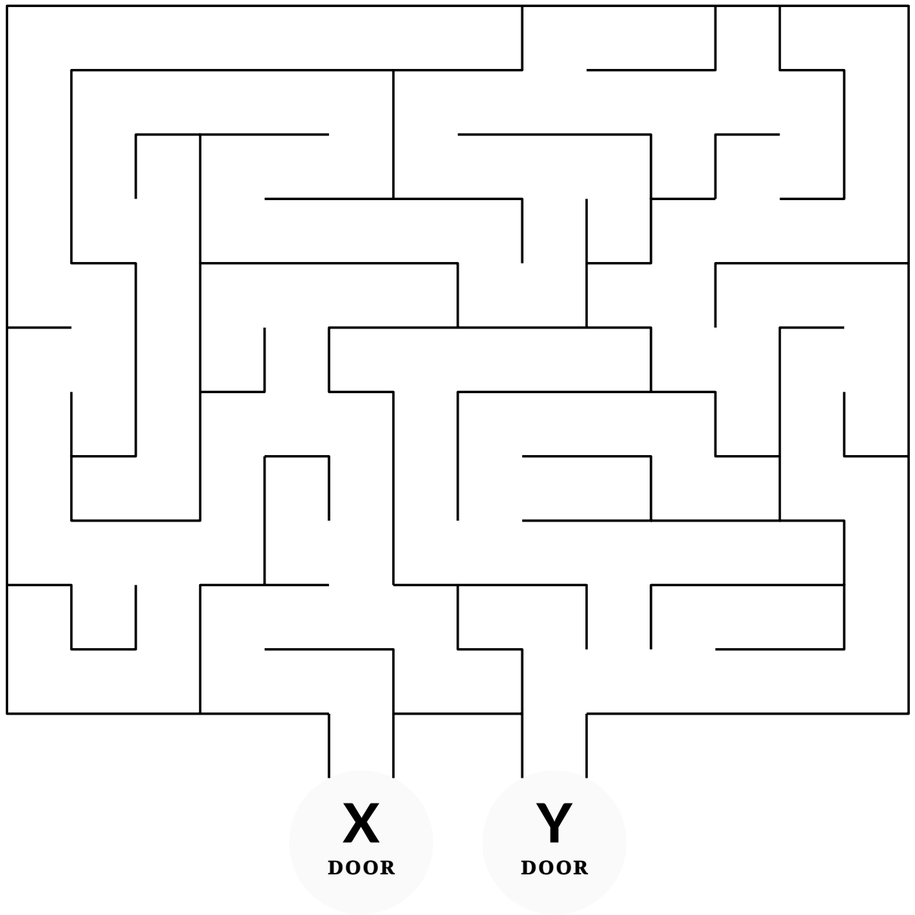
เขาวงกตมี**ทางเข้า–ออก 2 ทาง** และมีเส้นทางภายในที่เชื่อมด้วย**กลไกปริศนา**อย่างหนึ่ง

(เช่น อาจมีประตูกลที่เปิดได้ทางเดียวซ่อนอยู่ หรือประตูที่ต้องใช้รหัสผ่านลับเพื่อเปิดใช้งาน เป็นต้น)

Alice ต้องการจะพิสูจน์ให้ **Bob** ฟังว่า

> *ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู* **X** *และประตู* **Y**

เขาวงกต ▶ โจทย์



เขาวงกตมี**ทางเข้า–ออก 2 ทาง** และมีเส้นทางภายในที่เชื่อมด้วย**กลไกปริศนา**อย่างหนึ่ง

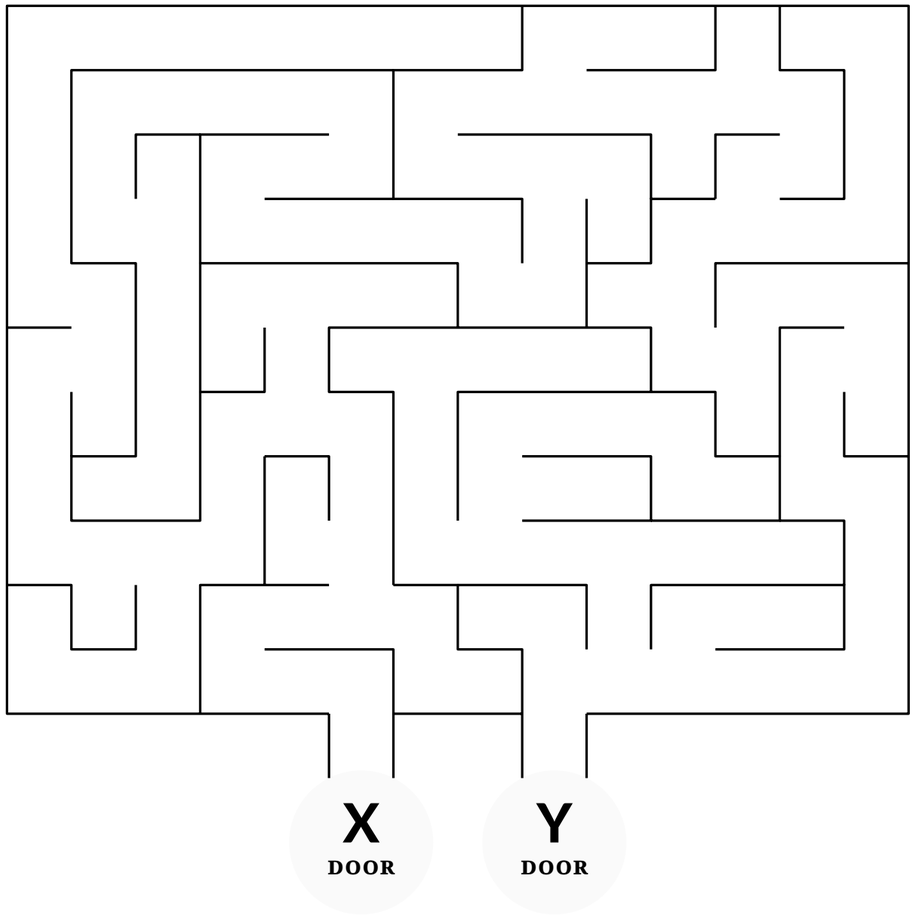
(เช่น อาจมีประตูกลที่เปิดได้ทางเดียวซ่อนอยู่ หรือประตูที่ต้องใช้รหัสผ่านลับเพื่อเปิดใช้งาน เป็นต้น)

Alice ต้องการจะพิสูจน์ให้ **Bob** ฟังว่า

ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู **X** *และประตู* **Y**

เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

เขาวงกต ▶ โจทย์



เขาวงกตมี**ทางเข้า–ออก 2 ทาง** และมีเส้นทางภายในที่เชื่อมด้วย**กลไกปริศนา**อย่างหนึ่ง

(เช่น อาจมีประตูกลที่เปิดได้ทางเดียวซ่อนอยู่ หรือประตูที่ต้องใช้รหัสผ่านลับเพื่อเปิดใช้งาน เป็นต้น)

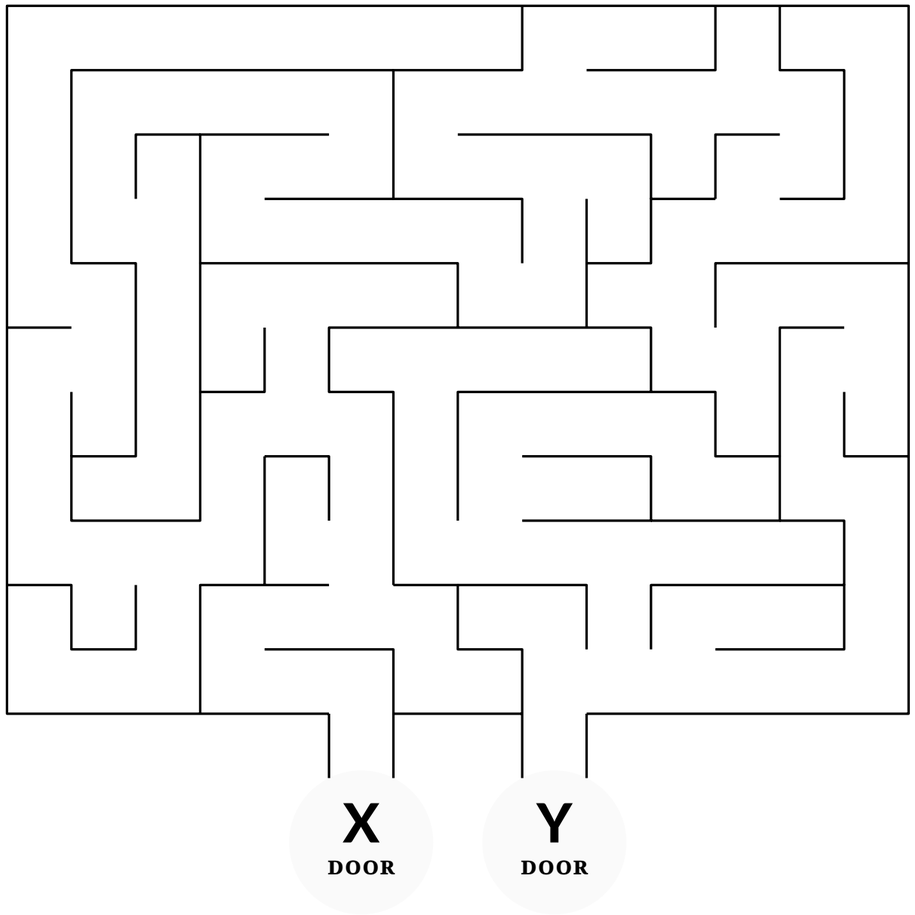
Alice ต้องการจะพิสูจน์ให้ **Bob** ฟังว่า

ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู **X** *และประตู* **Y**

เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

เขาวงกต ▶ โจทย์



Alice ต้องการจะพิสูจน์ให้ **Bob** ฟังว่า

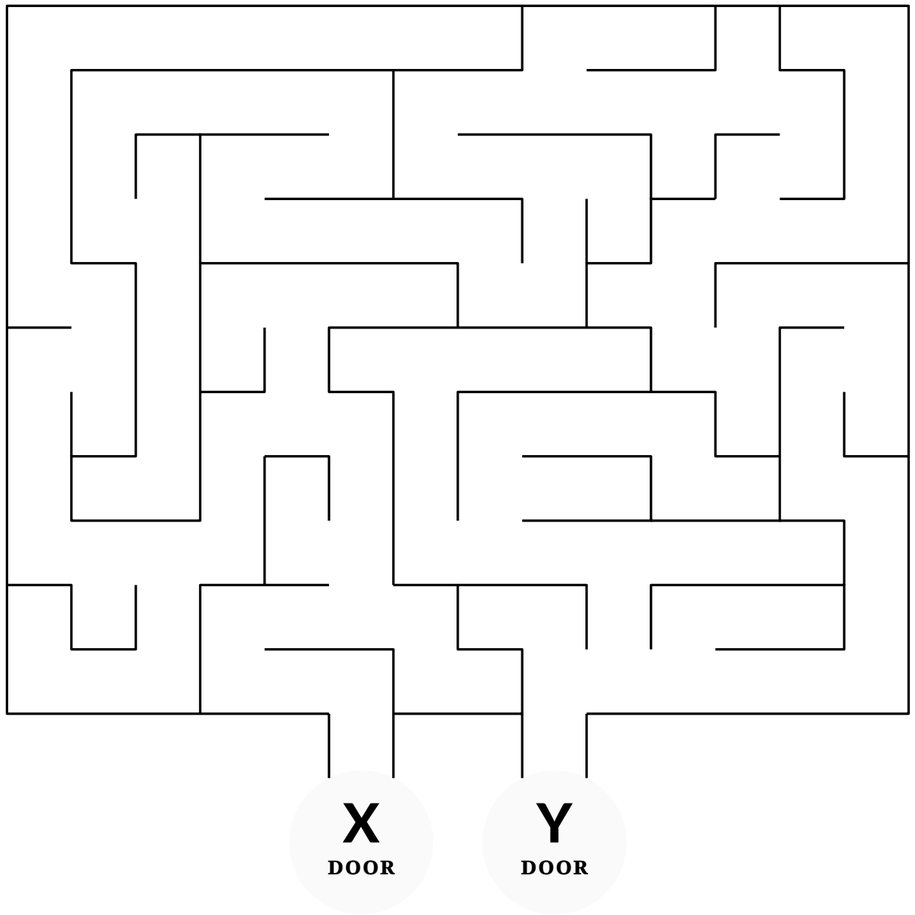
ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู **X** *และประตู* **Y**

เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

เขาวงกต ▶ โจทย์



Alice ต้องการจะพิสูจน์ให้ **Bob** ฟังว่า

ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู **X** *และประตู* **Y**

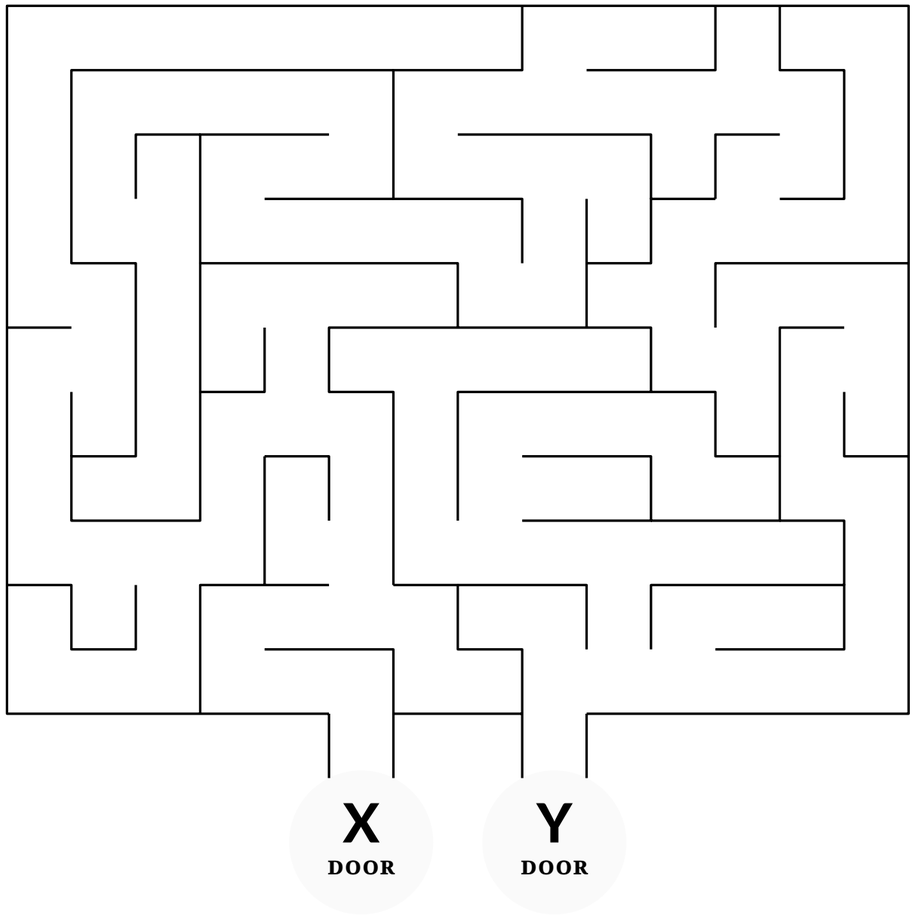
เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

เธอนี่เรื่องมากจังนะ :(จะเอาไง

เขาวงกต ▶ โจทย์



Alice ต้องการจะพิสูจน์ให้ **Bob** ฟังว่า

ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู **X** *และประตู* **Y**

เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

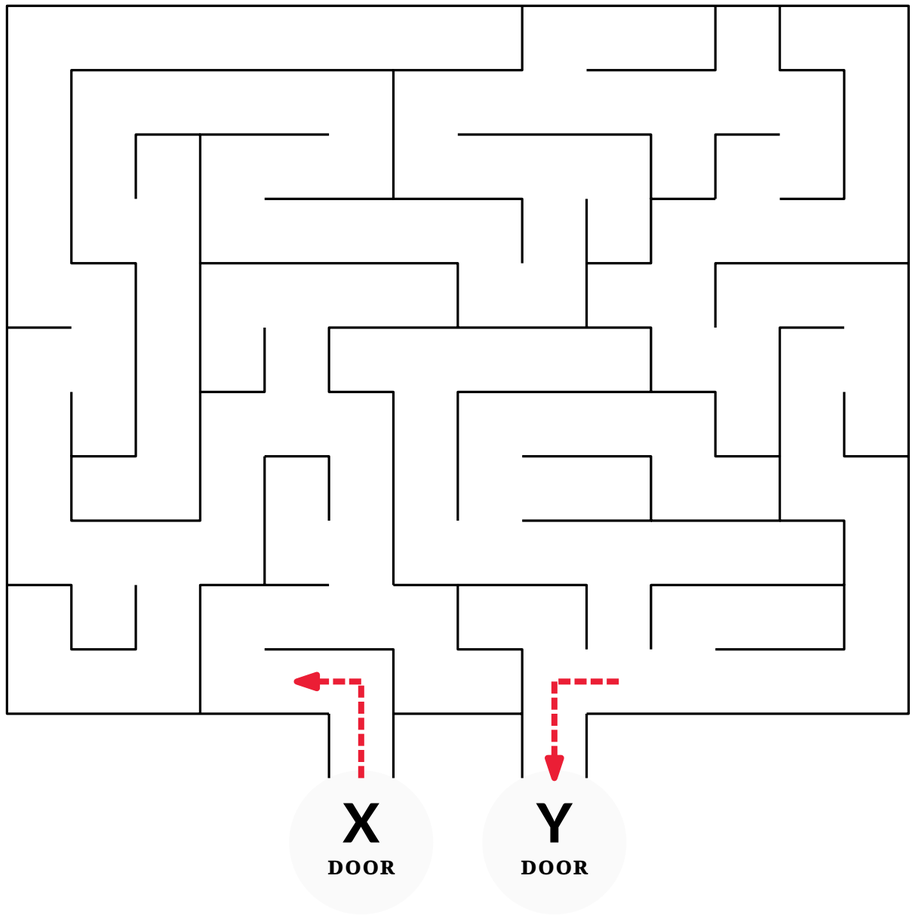
มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

เธอนี่เรื่องมากจังนะ :(จะเอาไง

จริง ๆ มันก็มีวิธีอยู่นะ

เขาวงกต ▶ โจทย์



ฉันรู้จักเส้นทางในเขาวงกตระหว่างประตู **X** และประตู **Y**

เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

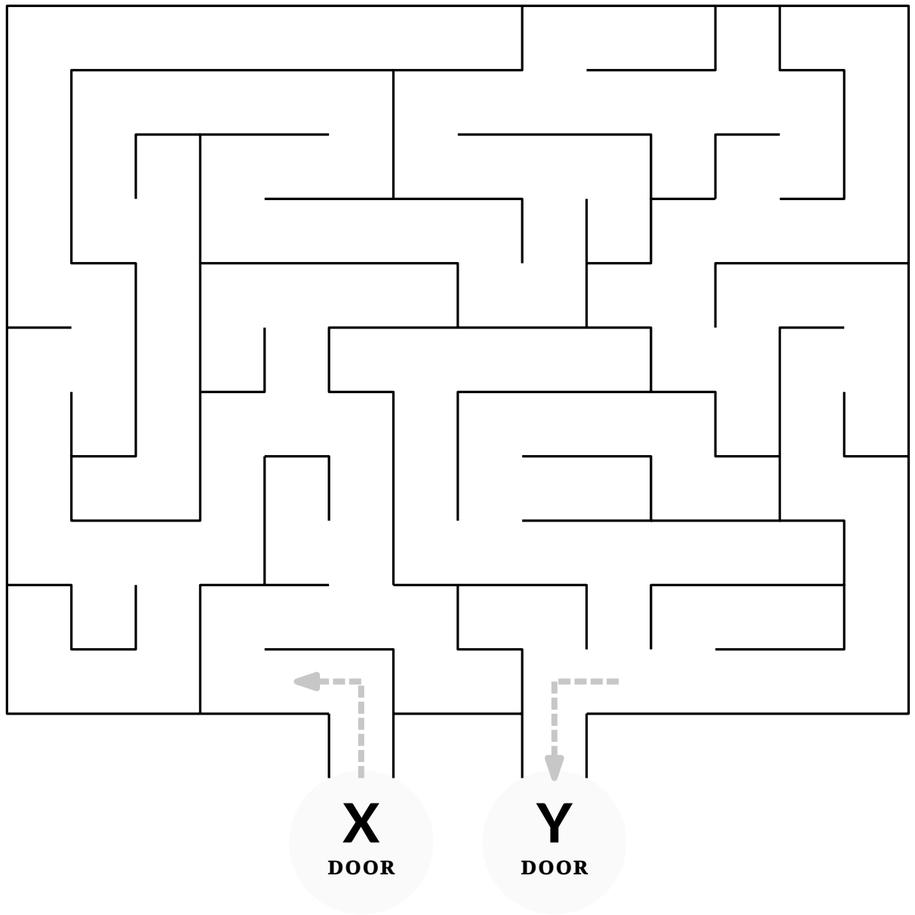
ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

เธอนี่เรื่องมากจังนะ :(จะเอาไง

จริง ๆ มันก็มีวิธีอยู่นะ

แกก็เข้าประตู **X** ไป แล้วออกทางประตู **Y** ให้เราเห็น
เดี๋ยวเราเฝ้าดูจากข้างนอกนี้นี่แหละ

เขาวงกต ▶ โจทย์



เราไม่เชื่อแกหรอก!!!

มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

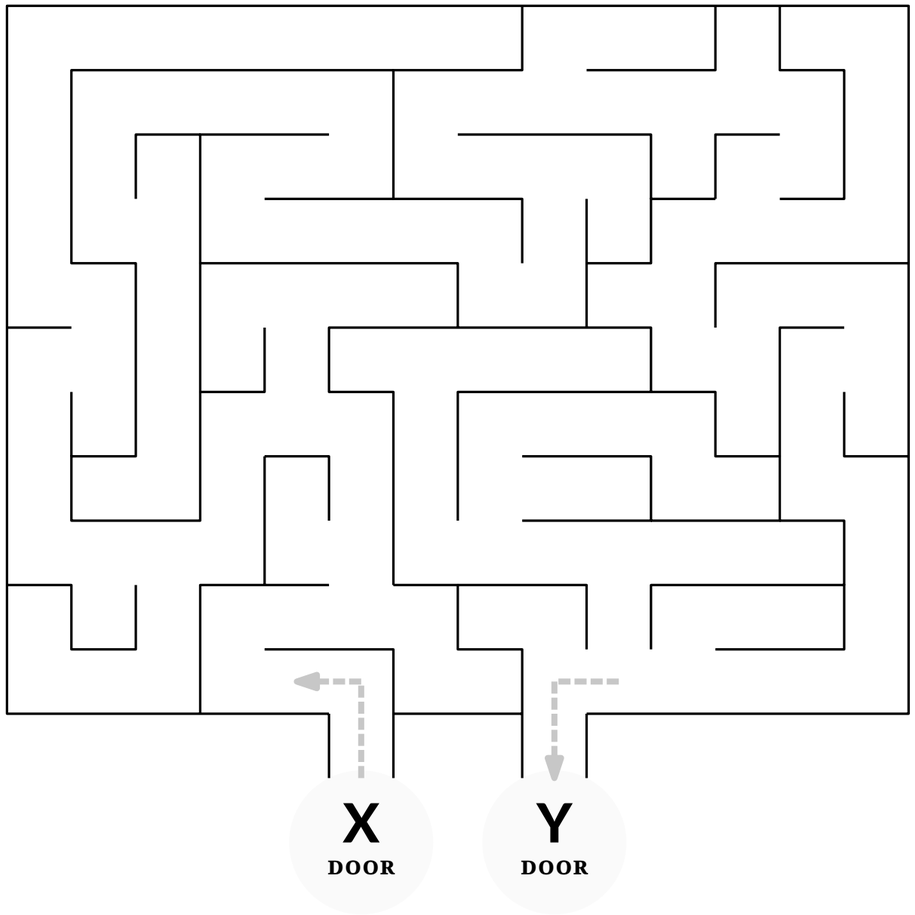
เธอนี่เรื่องมากจังนะ :(จะเอาไง

จริง ๆ มันก็มีวิธีอยู่นะ

*แกก็เข้าประตู **X** ไป แล้วออกทางประตู **Y** ให้เราเห็น*
เดี๋ยวเราเฝ้าดูจากข้างนอกนี้นี่แหละ

ถ้าแบบนั้น ก็เท่ากับให้คำใบ้หนะสิ

เขาวงกต ▶ โจทย์



มา! เดี๋ยวฉันนำทางเธอเอง

ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

เธอนี่เรื่องมากจังนะ :(จะเอาไง

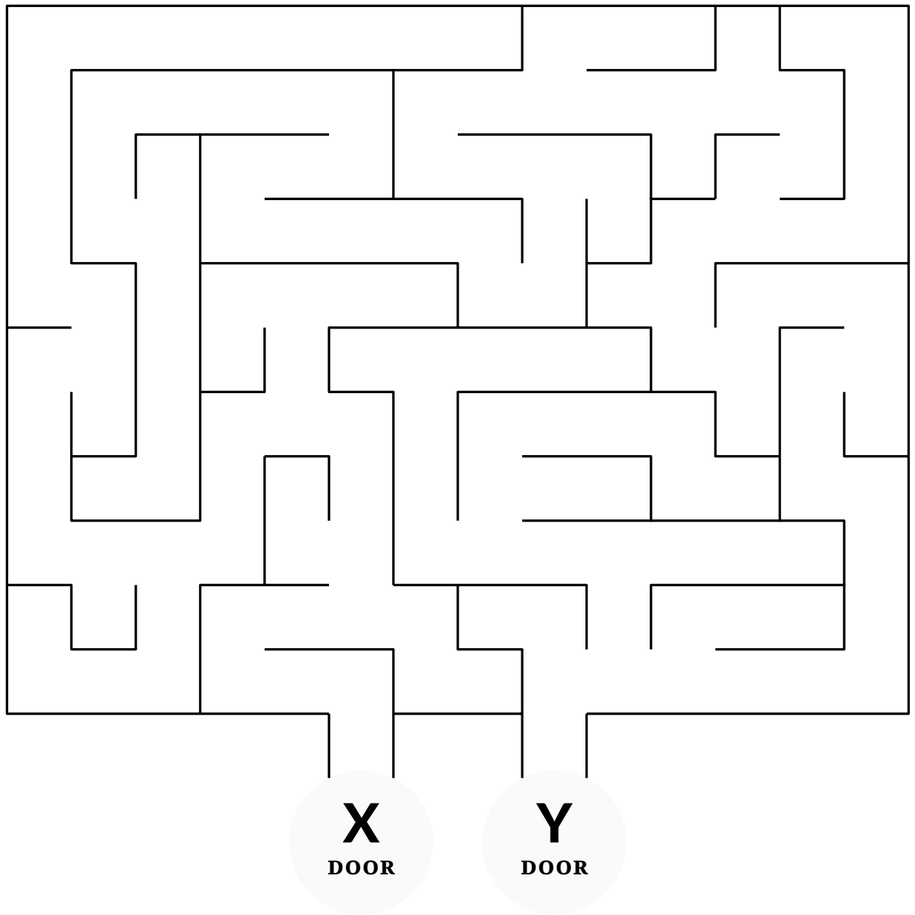
จริง ๆ มันก็มีวิธีอยู่นะ

แกก็เข้าประตู **X** ไป แล้วออกทางประตู **Y** ให้เราเห็น เดี๋ยวเราเฝ้าดูจากข้างนอกนี้นี่แหละ

ถ้าแบบนั้น ก็เท่ากับให้คำใบ้หนะสิ

. . . ว่ามีทางเข้า–ออกเขาวงกต ที่ต้องเข้าจากประตู **X** แล้วออกทางประตู **Y**

เขาวงกต ▶ โจทย์



ไม่เอาหรอก เราไม่อยากโดนสปอยล์อะ -_-

เธอนี่เรื่องมากจังนะ :(จะเอาไง

จริง ๆ มันก็มีวิธีอยู่นะ

แกก็เข้าประตู **X** ไป แล้วออกทางประตู **Y** ให้เราเห็น เดี๋ยวเราเฝ้าดูจากข้างนอกนี้นี่แหละ

ถ้าแบบนั้น ก็เท่ากับให้คำใบ้หนะสิ

. . . ว่ามีทางเข้า–ออกเขาวงกต ที่ต้องเข้าจากประตู **X** แล้วออกทางประตู **Y**

เธอไม่ควรรู้ด้วยซ้ำว่ามีเส้นทางแบบนั้น มันก็คือสปอยล์รูปแบบหนึ่งนะ

Zero-Knowledge Proof

Zero-Knowledge Proof

เป้าหมายการสื่อสาร พิสูจน์ข้อเท็จจริงบางอย่างให้อีกฝ่ายทราบ

Zero-Knowledge Proof

เป้าหมายการสื่อสาร พิสูจน์ข้อเท็จจริงบางอย่างให้อีกฝ่ายทราบ

เงื่อนไข ผู้ฟังต้องไม่เรียนรู้สิ่งอื่นใดนอกเหนือจากว่าข้อเท็จจริงถูกต้อง

Zero-Knowledge Proof

เป้าหมายการสื่อสาร พิสูจน์ข้อเท็จจริงบางอย่างให้อีกฝ่ายทราบ

เงื่อนไข ผู้ฟังต้องไม่เรียนรู้สิ่งอื่นใดนอกเหนือจากว่าข้อเท็จจริงถูกต้อง

เช่น พิสูจน์ว่า **บางปัญหามีคำตอบ** แต่ ไม่บอกคำตอบ ✔

Zero-Knowledge Proof

เป้าหมายการสื่อสาร พิสูจน์ข้อเท็จจริงบางอย่างให้อีกฝ่ายทราบ

เงื่อนไข ผู้ฟังต้องไม่เรียนรู้สิ่งอื่นใดนอกเหนือจากว่าข้อเท็จจริงถูกต้อง

เช่น พิสูจน์ว่า **บางปัญหามีคำตอบ** แต่ ไม่บอกคำตอบ ✔

พิสูจน์ว่า **ฉันอายุ 18 ปีขึ้นไป** แต่ ไม่บอกวันเดือนปีเกิด 📅

Zero-Knowledge Proof

เป้าหมายการสื่อสาร พิสูจน์ข้อเท็จจริงบางอย่างให้อีกฝ่ายทราบ

เงื่อนไข ผู้ฟังต้องไม่เรียนรู้สิ่งอื่นใดนอกเหนือจากว่าข้อเท็จจริงถูกต้อง

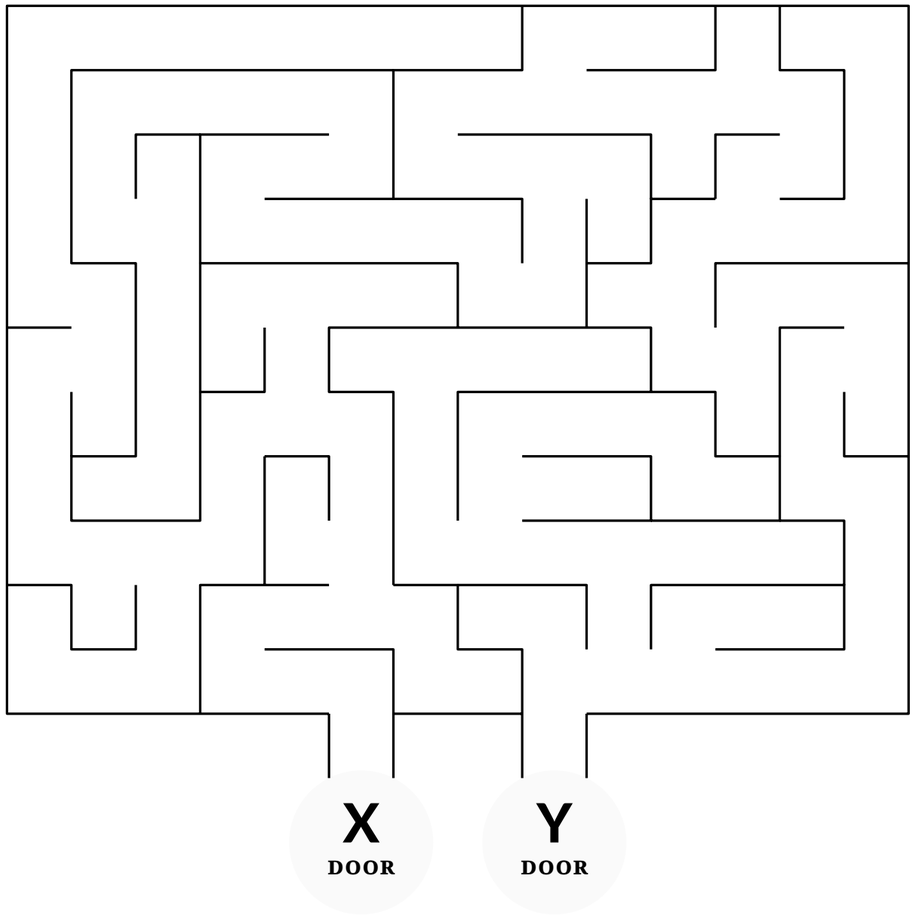
เช่น พิสูจน์ว่า **บางปัญหามีคำตอบ** แต่ ไม่บอกคำตอบ ✔

พิสูจน์ว่า **ฉันอายุ 18 ปีขึ้นไป** แต่ ไม่บอกวันเดือนปีเกิด 📅

พิสูจน์ว่า **ฉันมีสิทธิเข้าถึงข้อมูล** แต่ ไม่บอก credentials / secret key 🔑

~~พิสูจน์ว่า **บางปัญหาแก้ไขได้** แต่ ไม่บอกวิธีแก้ไข~~ 😊

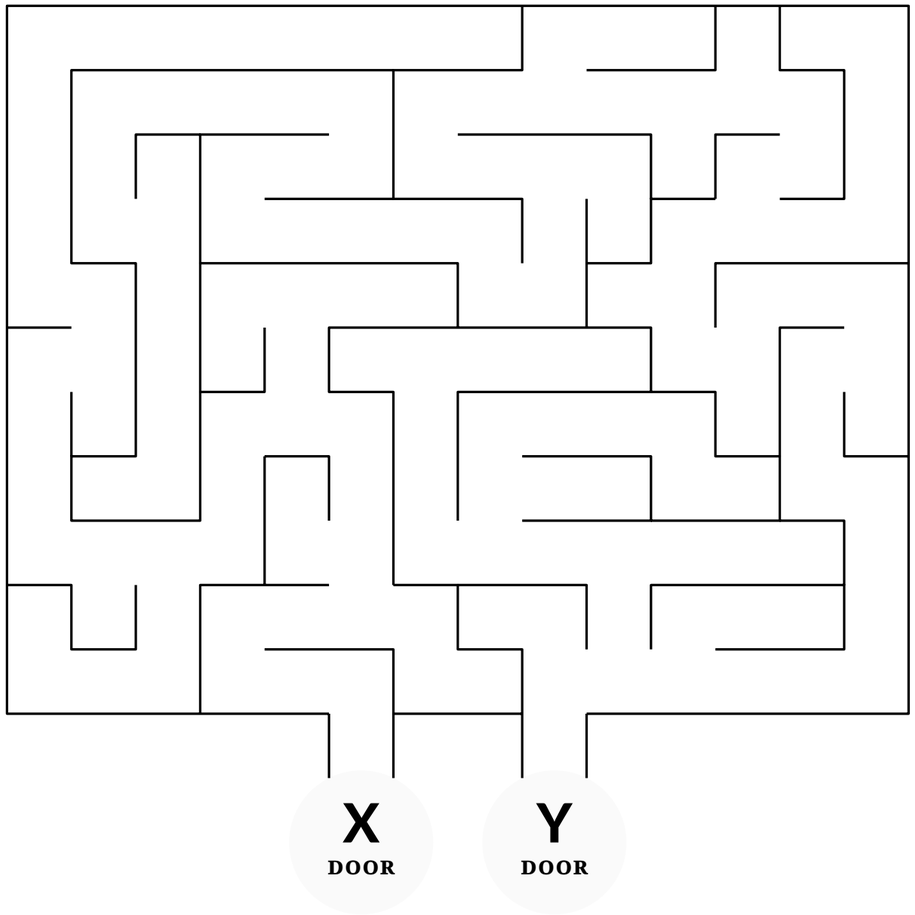
เขาวงกต ▶ วิธีแก้ปัญหา



Alice ผู้พิสูจน์

ผู้ตรวจสอบ **Bob**

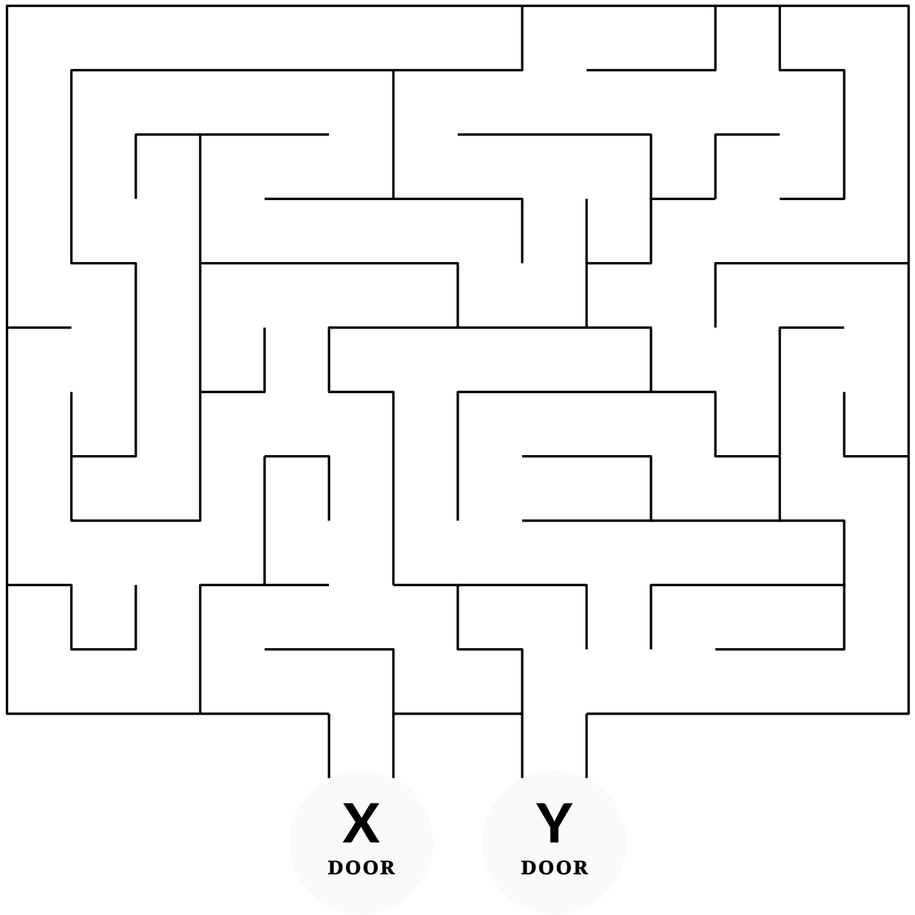
เขาวงกต ▶ วิธีแก้ปัญหา



Alice ผู้พิสูจน์ ผู้ตรวจสอบ **Bob**

เอาอย่างนี้แล้วกัน (1) เดี๋ยวเธอหันหลังก่อน แล้วฉันจะเดินเข้าไปเตรียมตัวข้างใน จากนั้น (2) เดี๋ยวฉันจะเดินออกมาให้เธอดู

เขาวงกต ▶ วิธีแก้ปัญหา

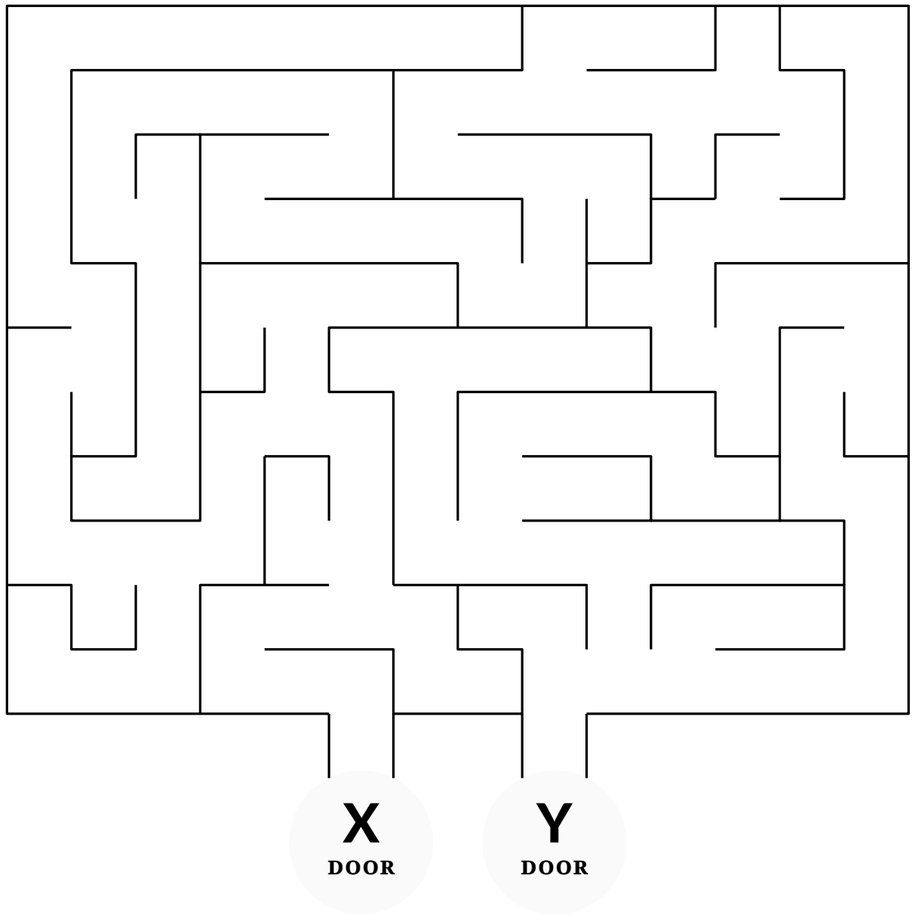


Alice ผู้พิสูจน์ — ผู้ตรวจสอบ **Bob**

เอาอย่างนี้แล้วกัน (1) เดี๋ยวเธอหันหลังก่อน แล้วฉันจะเดินเข้าไปเตรียมตัวข้างใน จากนั้น (2) เดี๋ยวฉันจะเดินออกมาให้เธอดู

ทำแบบนี้แล้วเธอก็ไม่รู้ว่าฉันเดินเข้าประตูไหน

เขาวงกต ▶ วิธีแก้ปัญหา



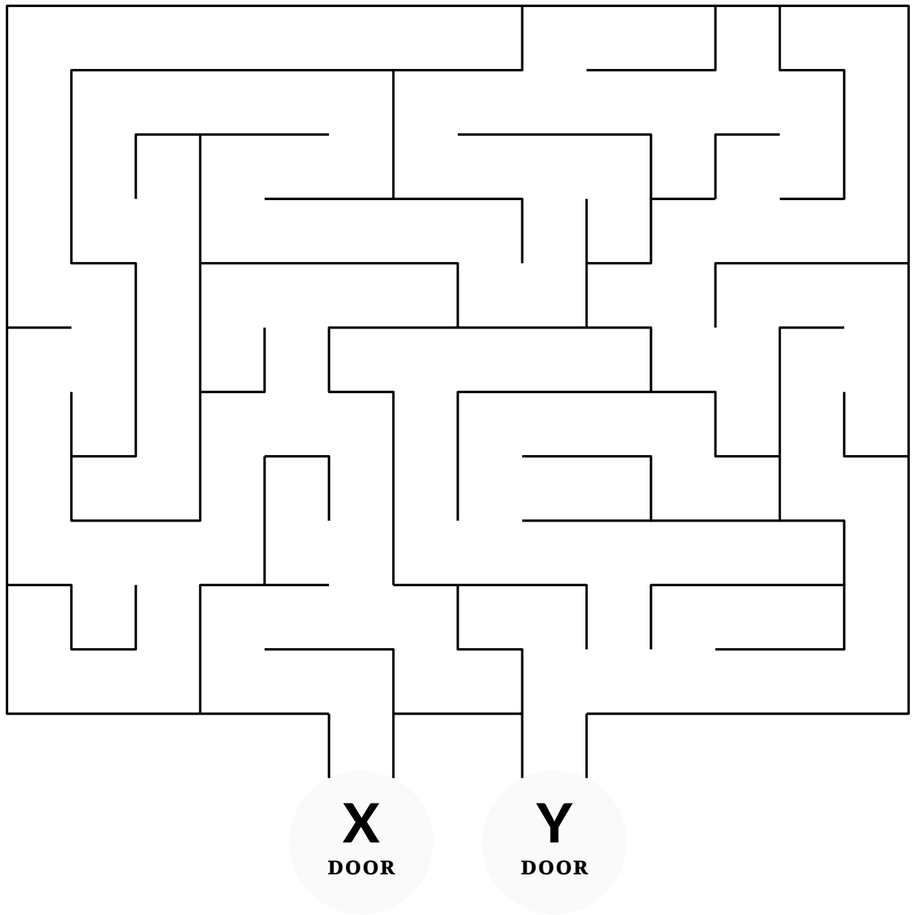
Alice ผู้พิสูจน์ — ผู้ตรวจสอบ **Bob**

เอาอย่างนี้แล้วกัน (1) เดี๋ยวเธอหันหลังก่อน แล้วฉันจะเดินเข้าไปเตรียมตัวข้างใน จากนั้น (2) เดี๋ยวฉันจะเดินออกมาให้เธอดู

ทำแบบนี้แล้วเธอก็ไม่รู้ว่าฉันเดินเข้าประตูไหน

อ้าว! แล้วแบบนี้จะรู้ได้ไงว่าแกไม่ได้กลับออกมาทางเดิมที่แกเดินเข้าไป

เขาวงกต ▶ วิธีแก้ปัญหา



Alice ผู้พิสูจน์ — ผู้ตรวจสอบ **Bob**

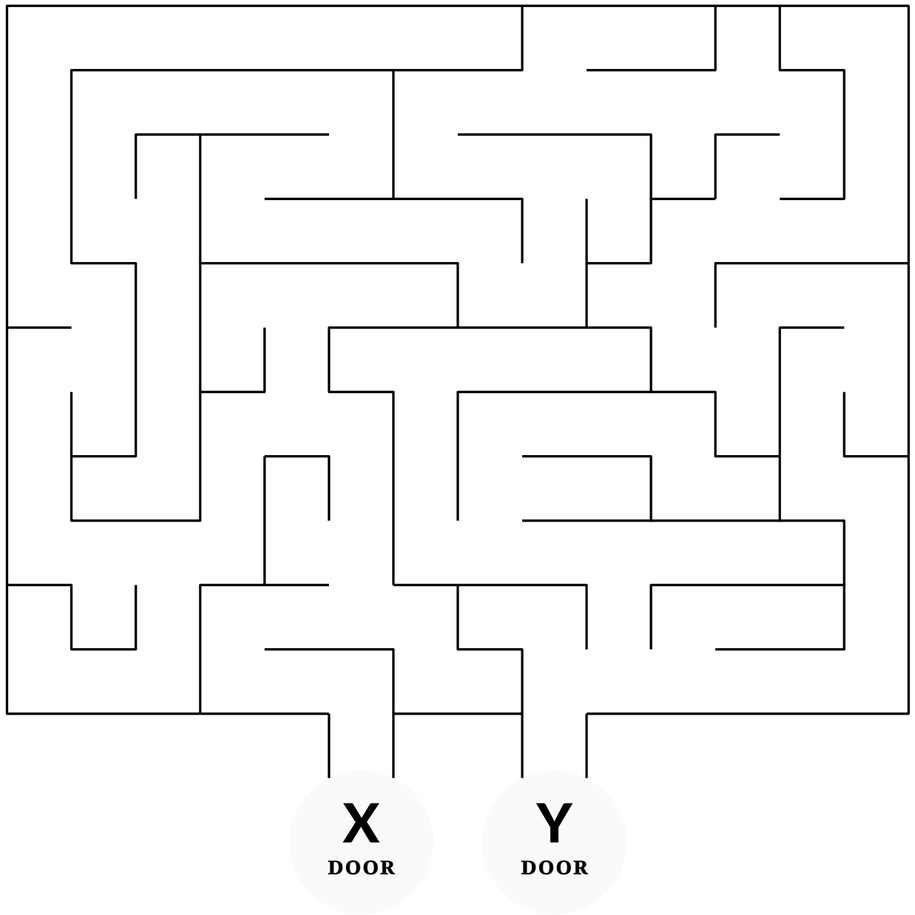
เอาอย่างนี้แล้วกัน (1) เดี๋ยวเธอหันหลังก่อน แล้วฉันจะเดินเข้าไปเตรียมตัวข้างใน จากนั้น (2) เดี๋ยวฉันจะเดินออกมาให้เธอดู

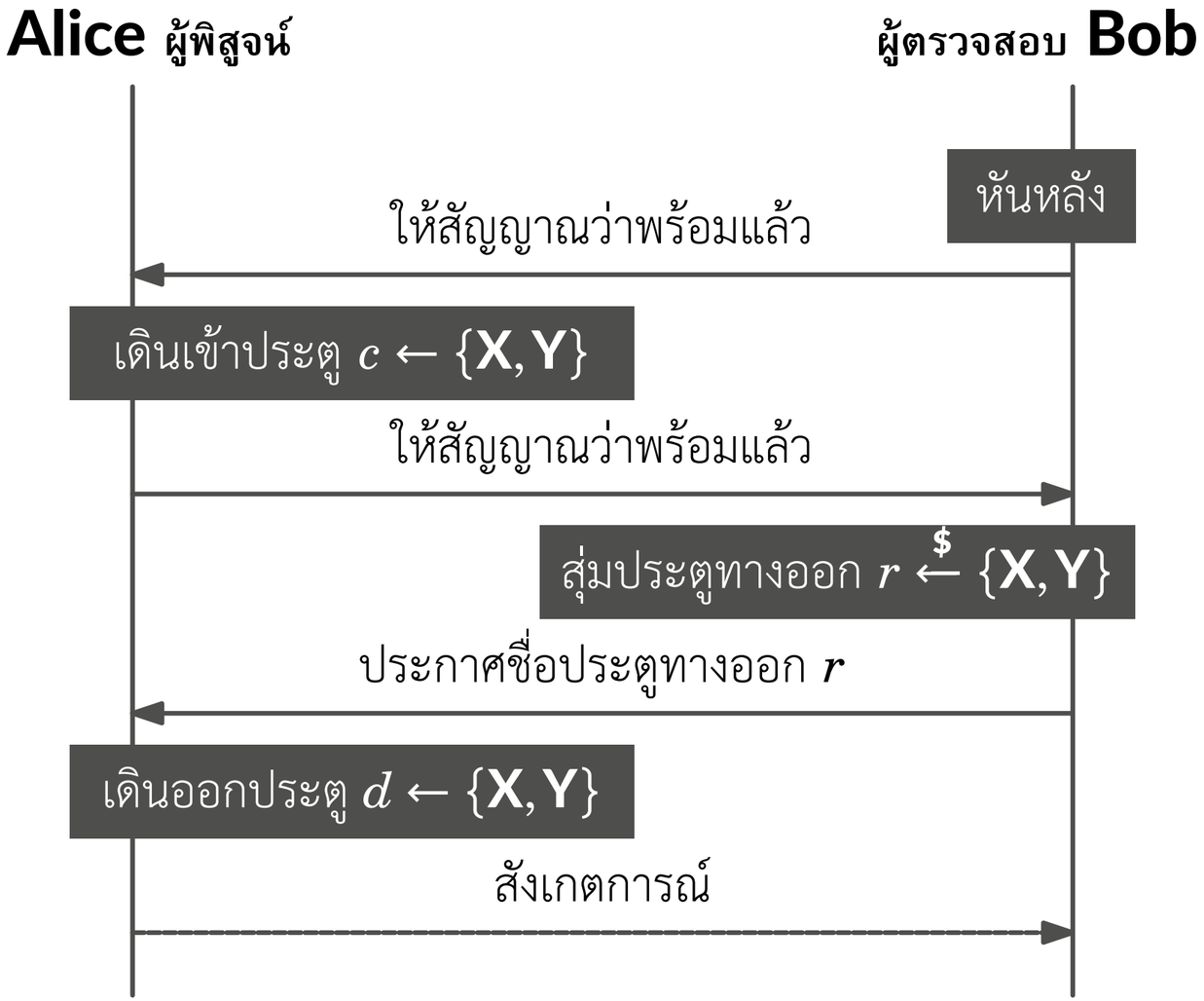
ทำแบบนี้แล้วเธอก็ไม่รู้ว่าฉันเดินเข้าประตูไหน

อ้าว! แล้วแบบนี้จะรู้ได้ไงว่าแกไม่ได้กลับออกมาทางเดิมที่แกเดินเข้าไป

เธอก็สุ่มสิว่าจะให้ฉันเดินออกทางประตูไหน ถ้าฉันรู้วิธีแก้เขาวงกต ฉันจะเดินออกประตูไหนก็ได้ / แต่ถ้าฉันไม่รู้ ฉันต้องเดาใจเธอไง

เขาวงกต ▶ วิธีแก้ปัญหา





THE HEART OF
Zero-Knowledge Proof

THE HEART OF
Zero-Knowledge Proof

COMPLETENESS

ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

แล้ว Alice สามารถพิสูจน์ว่า
ตนรู้จริงให้ **Bob** กระจ่างได้

THE HEART OF
Zero-Knowledge Proof

COMPLETENESS

ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

แล้ว Alice สามารถพิสูจน์ว่า
ตนรู้จริงให้ **Bob** กระจ่างได้

SOUNDNESS

ถ้า Alice ไม่ทราบคำตอบ

แล้ว Alice ไม่สามารถหลอก
ให้ **Bob** เชื่อคล้อยตามได้

THE HEART OF
Zero-Knowledge Proof

COMPLETENESS

ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

แล้ว Alice สามารถพิสูจน์ว่าตนรู้จริงให้ **Bob** กระจ่างได้

SOUNDNESS

ถ้า Alice ไม่ทราบคำตอบ

แล้ว Alice ไม่สามารถหลอกให้ **Bob** เชื่อคล้อยตามได้

ZERO-KNOWLEDGE

ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

แล้ว Bob ไม่ได้เรียนรู้สิ่งใดจาก **Alice** เว้นเฉพาะสิ่งที่ **Bob** คาดเดาได้ด้วยตัวเอง

THE HEART OF
Zero-Knowledge Proof

CORRECTNESS PROPERTY

SECURITY PROPERTY

COMPLETENESS

ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

แล้ว Alice สามารถพิสูจน์ว่าตนรู้จริงให้ **Bob** กระจ่างได้

**ด้วยความน่าจะเป็นที่สูงมาก ๆ*

SOUNDNESS

ถ้า Alice ไม่ทราบคำตอบ

แล้ว Alice ไม่สามารถหลอกให้ **Bob** เชื่อคล้อยตามได้

**ด้วยความน่าจะเป็นที่สูงมาก ๆ*

ZERO-KNOWLEDGE

ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

แล้ว Bob ไม่ได้เรียนรู้สิ่งใดจาก **Alice** เว้นเฉพาะสิ่งที่ **Bob** คาดเดาได้ด้วยตัวเอง

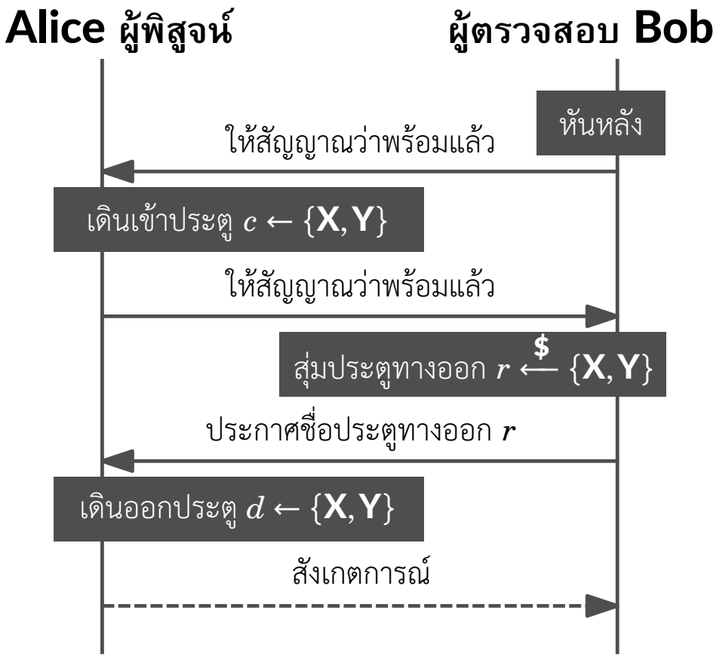
**ด้วยความน่าจะเป็นที่สูงมาก ๆ*

เขาวงกต ▶ ประเมินวิธีแก้ปัญหา

COMPLETENESS

SOUNDNESS

ZERO-KNOWLEDGE

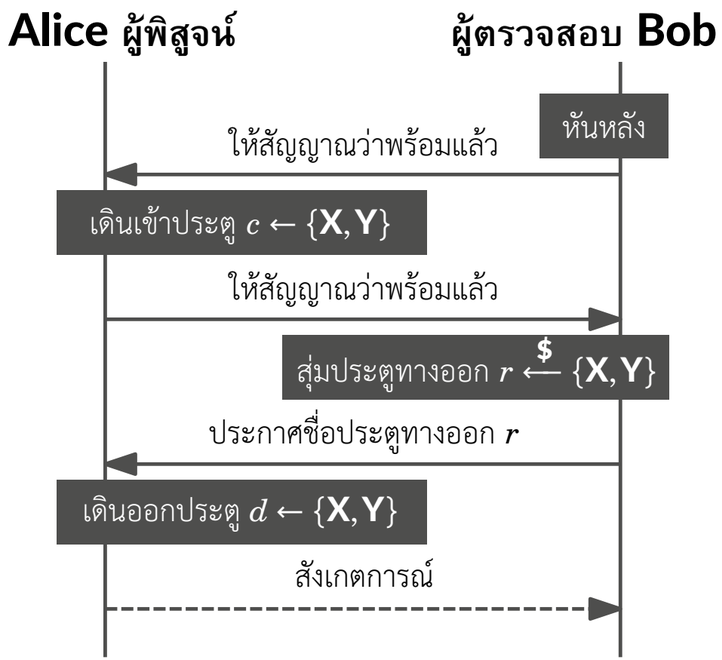


เขาวงกต ▶ ประเมินวิธีแก้ปัญหา

COMPLETENESS

SOUNDNESS

ZERO-KNOWLEDGE



ถ้า **Alice** ทราบคำตอบจริง

(**Alice** รู้เส้นทางระหว่างประตูทั้งสอง)

⇓

Alice สามารถเลือกออกประตูไหนก็ได้

⇓

Alice สามารถเลือกออกประตูที่ **Bob** กำหนดให้ได้เสมอ

เพียงแค่เลือก $d = r$

⇓

Bob เชื่อว่า **Alice** ทราบคำตอบจริง

(ด้วยความน่าจะเป็น เท่ากับ 100%)

⇓

แล้ว **Alice** สามารถพิสูจน์ว่าตนรู้จริงให้ **Bob** กระจ่างได้

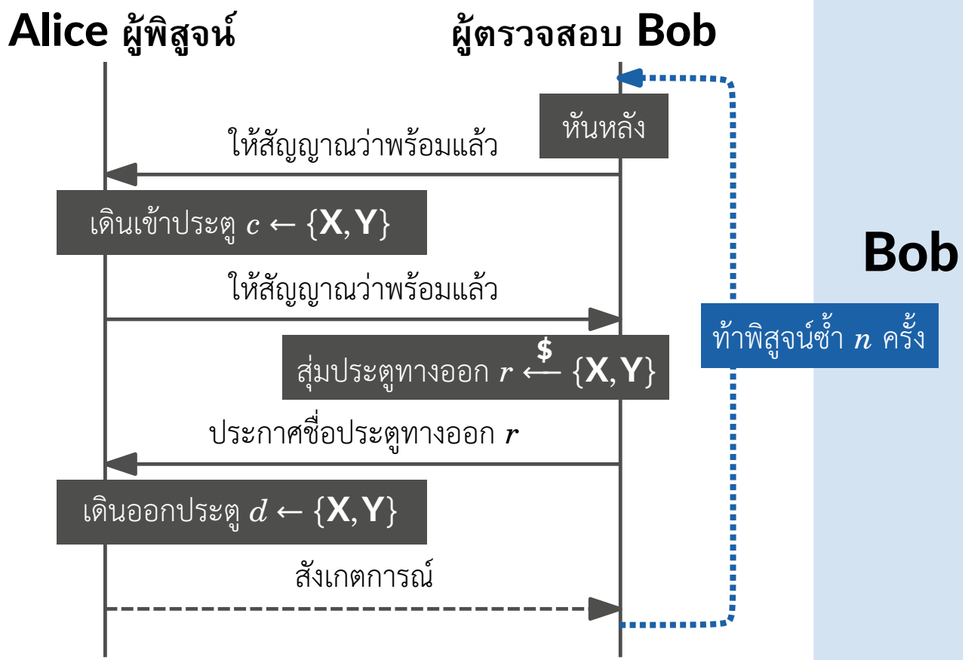
(ด้วยความน่าจะเป็น เท่ากับ 100%)

เขาวงกต ▶ ประเมินวิธีแก้ปัญหา

COMPLETENESS

SOUNDNESS

ZERO-KNOWLEDGE



ถ้า Alice ไม่ทราบคำตอบ

⇓

Alice จำเป็นต้องออกทางประตูที่เข้ามา

นั่นคือบังคับเลือก $d = c$

⇓

Alice ต้องเดาว่า **Bob** จะให้ออกประตูใด

โอกาสเดา $c = r$ ถูกต้องเพียง 50% เปอร์เซ็นต์

⇓

Bob สามารถท้า **Alice** พิสูจน์ซ้ำได้หลายครั้ง เผื่อ(บางครั้ง)ถูกหลอก

โอกาสที่ **Bob** ถูกหลอกสำเร็จติดกันจะลดลง และความเชื่อมั่นก็จะมากขึ้น
(เช่น ถ้าทดสอบ $n = 20$ ครั้ง ความมั่นใจจะเพิ่มเป็น $1 - 0.5^n \approx 99.999905\%$)

⇓

แล้ว Alice ไม่สามารถหลอกให้ **Bob** เชื่อคล้อยตามได้

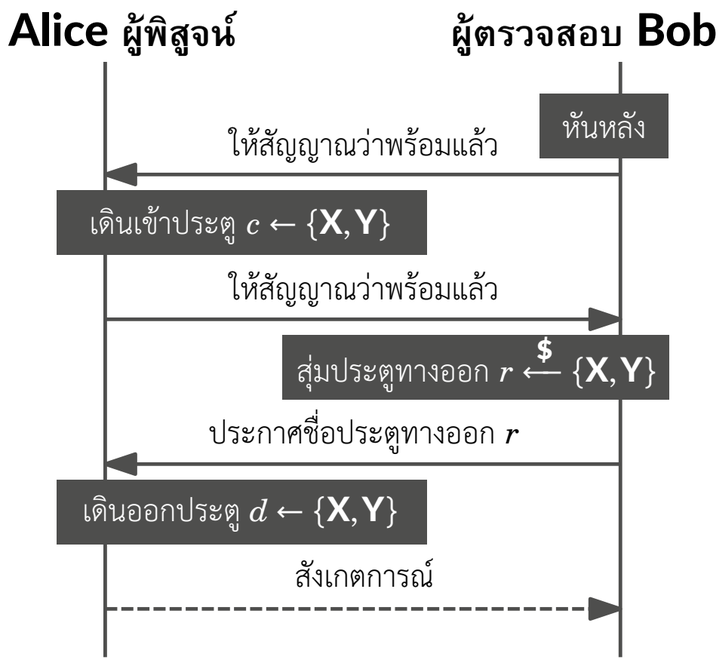
(ด้วยความน่าจะเป็น มากกว่า 99.99%)

เขาวงกต ▶ ประเมินวิธีแก้ปัญหา

COMPLETENESS

SOUNDNESS

ZERO-KNOWLEDGE



ถ้า Alice ทราบคำตอบจริง

(**Alice** รู้เส้นทางระหว่างประตูทั้งสอง)

Alice สามารถเลือกออกประตู
ที่ **Bob** กำหนดให้ได้เสมอ

ถึงแม้สมมติ **Alice** ไม่อยู่
Bob สามารถลองจินตนาการได้

Bob จะเห็นภาพ **Alice** เดินออกทางประตูที่ตนเรียกเสมอ

แล้ว Bob ไม่ได้เรียนรู้สิ่งใดจาก **Alice**
เว้นเฉพาะสิ่งที่ **Bob** คาดเดาได้ด้วยตัวเอง

ลายเซ็นดิจิทัล ▶ วิเคราะห์

ข้อมูลเบื้องต้น

FIDO Alliance นำเสนอวิธีใช้ Digital Signature เพื่อพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ผ่านเว็บไซต์

fido™ ALLIANCE | simpler stronger authentication

https://fidoalliance.org/

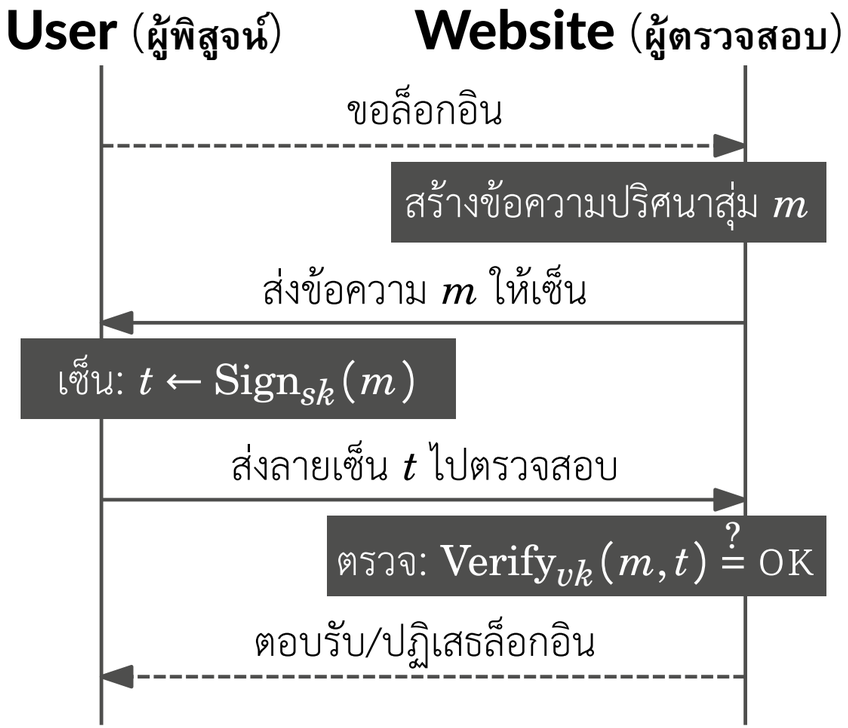
ลายเซ็นดิจิทัล ▶ วิเคราะห์

ข้อมูลเบื้องต้น FIDO Alliance นำเสนอวิธีใช้ Digital Signature เพื่อพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ผ่านเว็บไซต์

fido ALLIANCE simpler stronger authentication

https://fidoalliance.org/

จงพิสูจน์ความเป็นเจ้าของกุญแจสาธารณะ (verification key, vk) โดยใช้กุญแจส่วนตัว (signing key, sk) เซ็นข้อความปริศนาที่กำหนดให้



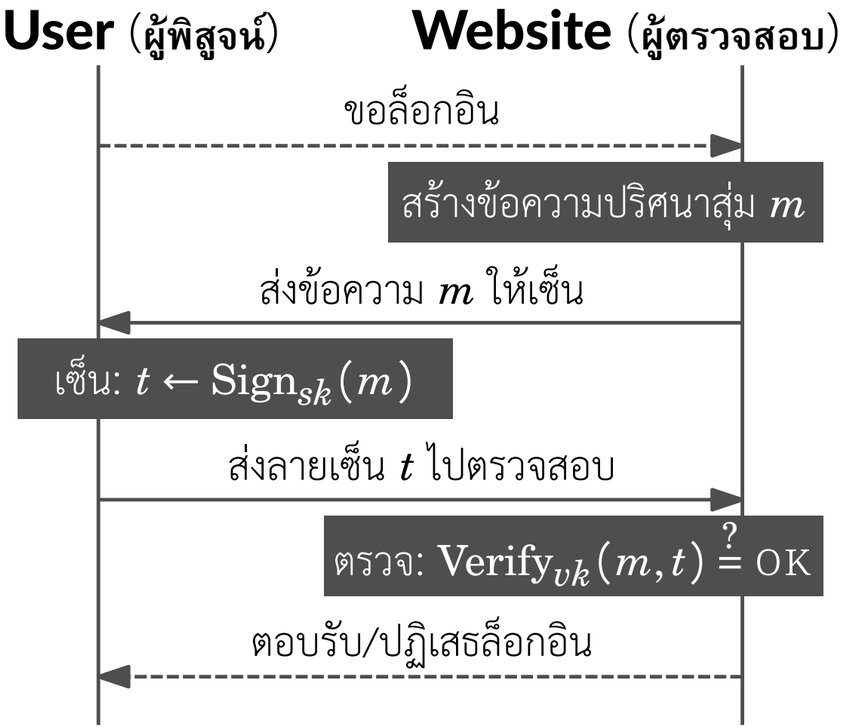
ลายเซ็นดิจิทัล ▶ วิเคราะห์

ข้อมูลเบื้องต้น FIDO Alliance นำเสนอวิธีใช้ Digital Signature เพื่อพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ผ่านเว็บไซต์

fido ALLIANCE simpler stronger authentication

https://fidoalliance.org/

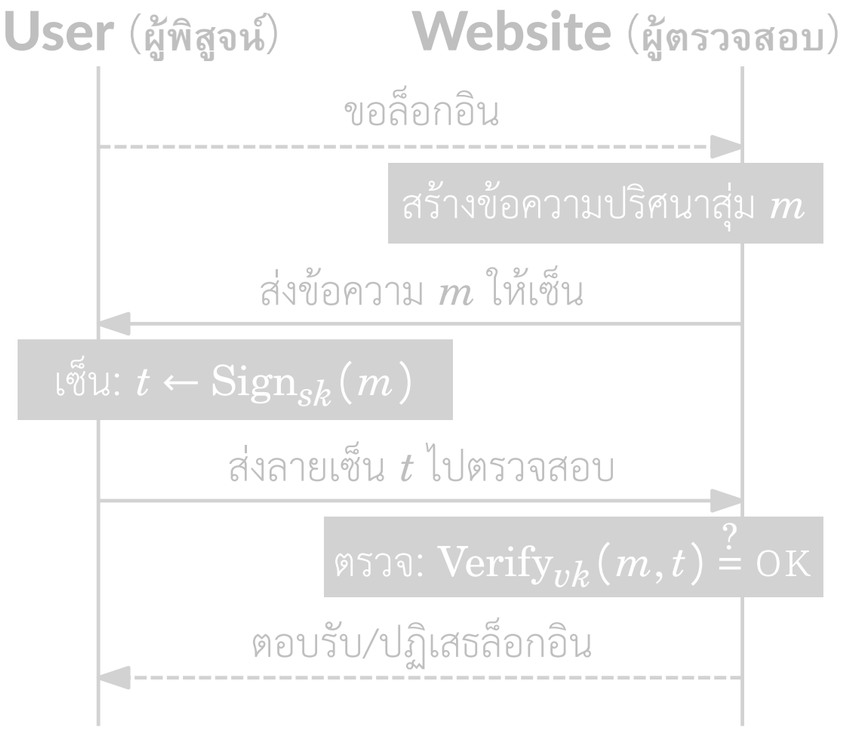
จงพิสูจน์ความเป็นเจ้าของกุญแจสาธารณะ (verification key, vk) โดยใช้กุญแจส่วนตัว (signing key, sk) เซ็นข้อความปริศนาที่กำหนดให้



IS THIS PROTOCOL ZERO-KNOWLEDGE?

NO

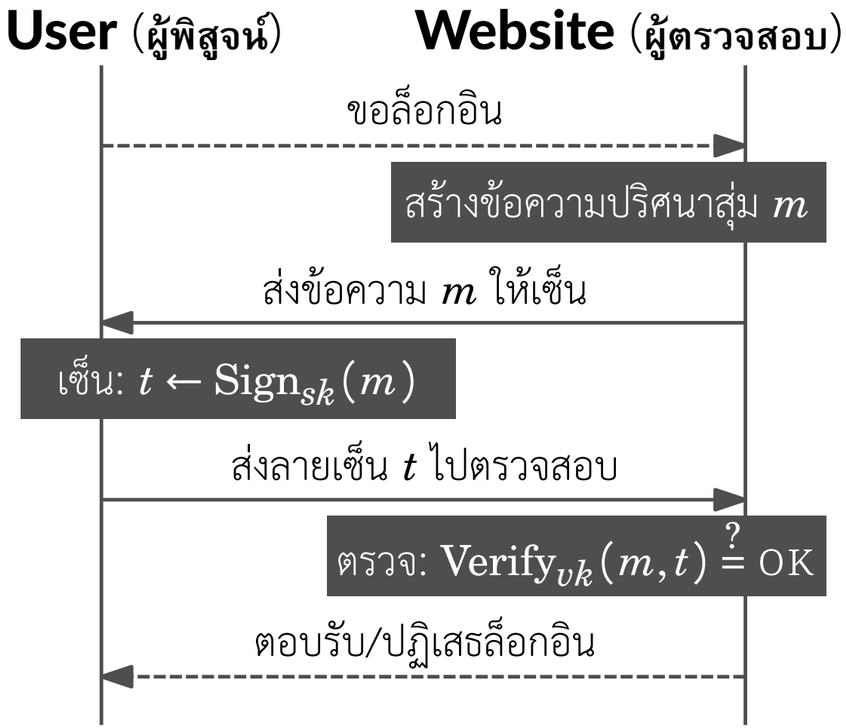
IS THIS PROTOCOL ZERO-KNOWLEDGE?



ลายเซ็นดิจิทัล ▶ วิเคราะห์

NO

เหตุผล **Website** ไม่สามารถคาดเดาลายเซ็น t ได้ด้วยตัวเอง (แต่เรียนรู้ได้จาก **User**)



IS THIS PROTOCOL ZERO-KNOWLEDGE?

ตัวอย่างอื่น ๆ

Act II

OUT IN THE FIELDS

ตัวอย่าง ▶ บล็อกเชน

Cryptocurrency

Generic

zk-SNARKs protocol

ตัวอย่าง ▶ บล็อกเชน

Cryptocurrency

Generic

$$\text{เงินโอน}_1 + \text{เงินโอน}_2 + \ldots + \text{เงินโอน}_m = \text{เงินรับ}_1 + \text{เงินรับ}_2 + \ldots + \text{เงินรับ}_k$$

zk-SNARKs protocol

ตัวอย่าง ▶ บล็อกเชน

Cryptocurrency

Generic

$$\text{เงินโอน}_1 + \text{เงินโอน}_2 + \ldots + \text{เงินโอน}_m = \text{เงินรับ}_1 + \text{เงินรับ}_2 + \ldots + \text{เงินรับ}_k$$

ซึ่งต้องพิสูจน์ สมการโอน-รับเงิน เป็นจริง $\$^+$ เงินแต่ละก้อน มีค่าเป็นบวก

เงื่อนไข ซ่อนมูลค่าเงินแต่ละก้อน

zk-SNARKs protocol

ตัวอย่าง ▶ บล็อกเชน

Cryptocurrency

Generic

$$\text{เงินโอน}_1 + \text{เงินโอน}_2 + \ldots + \text{เงินโอน}_m = \text{เงินรับ}_1 + \text{เงินรับ}_2 + \ldots + \text{เงินรับ}_k$$

ซึ่งต้องพิสูจน์

- สมการโอน-รับเงิน เป็นจริง
- $\$^+$ เงินแต่ละก้อน มีค่าเป็นบวก

เงื่อนไข

- ซ่อนมูลค่าเงินแต่ละก้อน
- ซ่อนเจ้าของบัญชี

zk-SNARKs protocol