

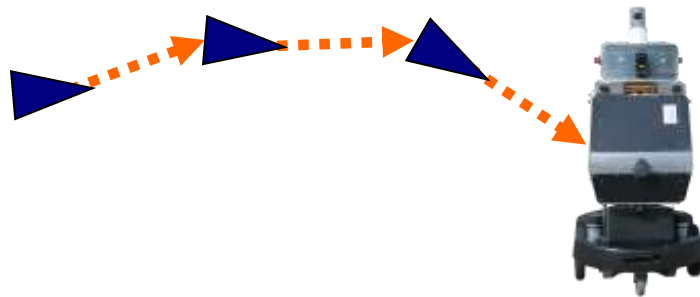
Robótica Móvil un enfoque probabilístico

SLAM basado en grafos

Ignacio Mas

SLAM basado en grafos

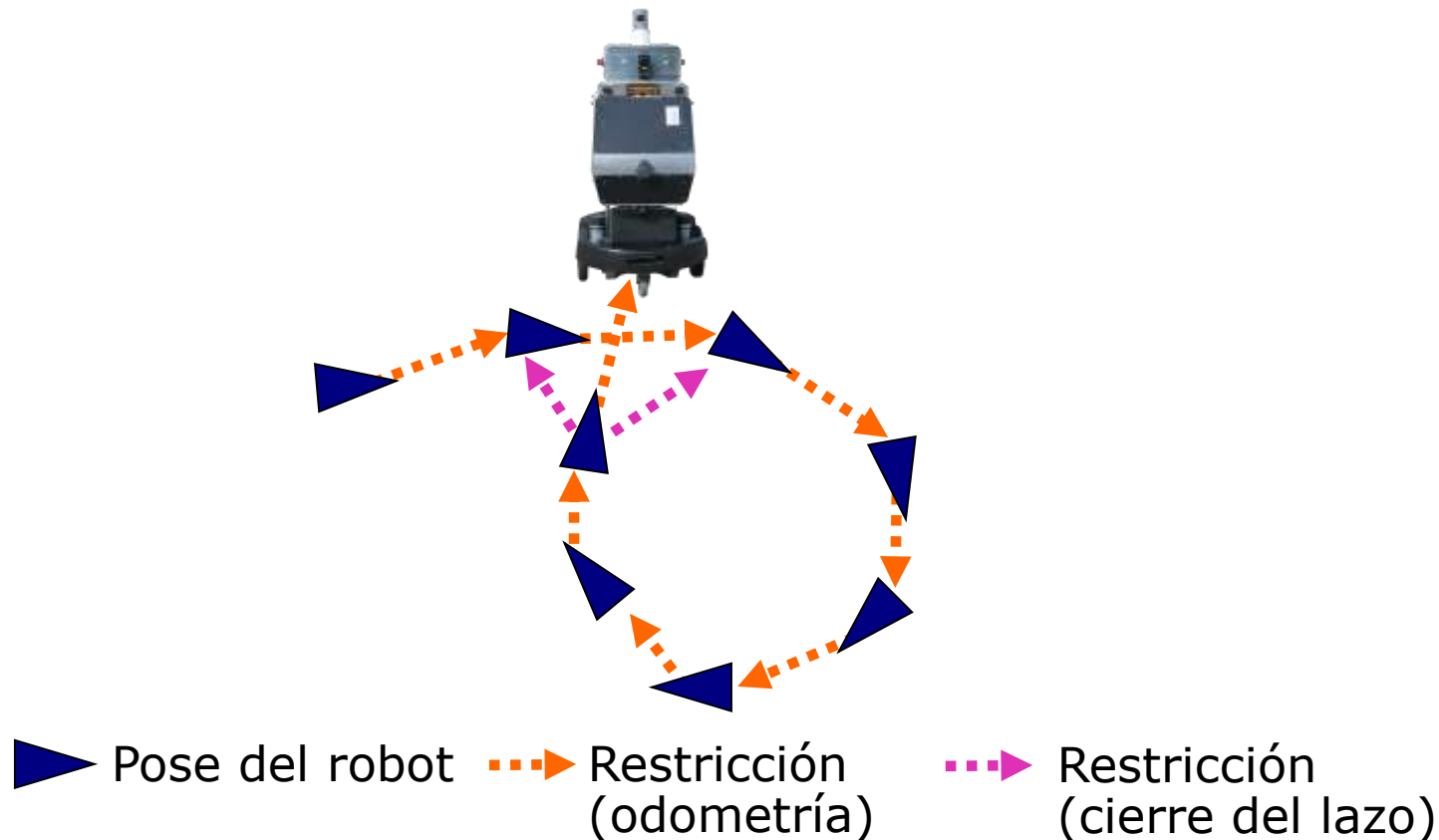
- Las poses del robot se conectan por restricciones a medida que se mueve
- Las restricciones tienen incertezas



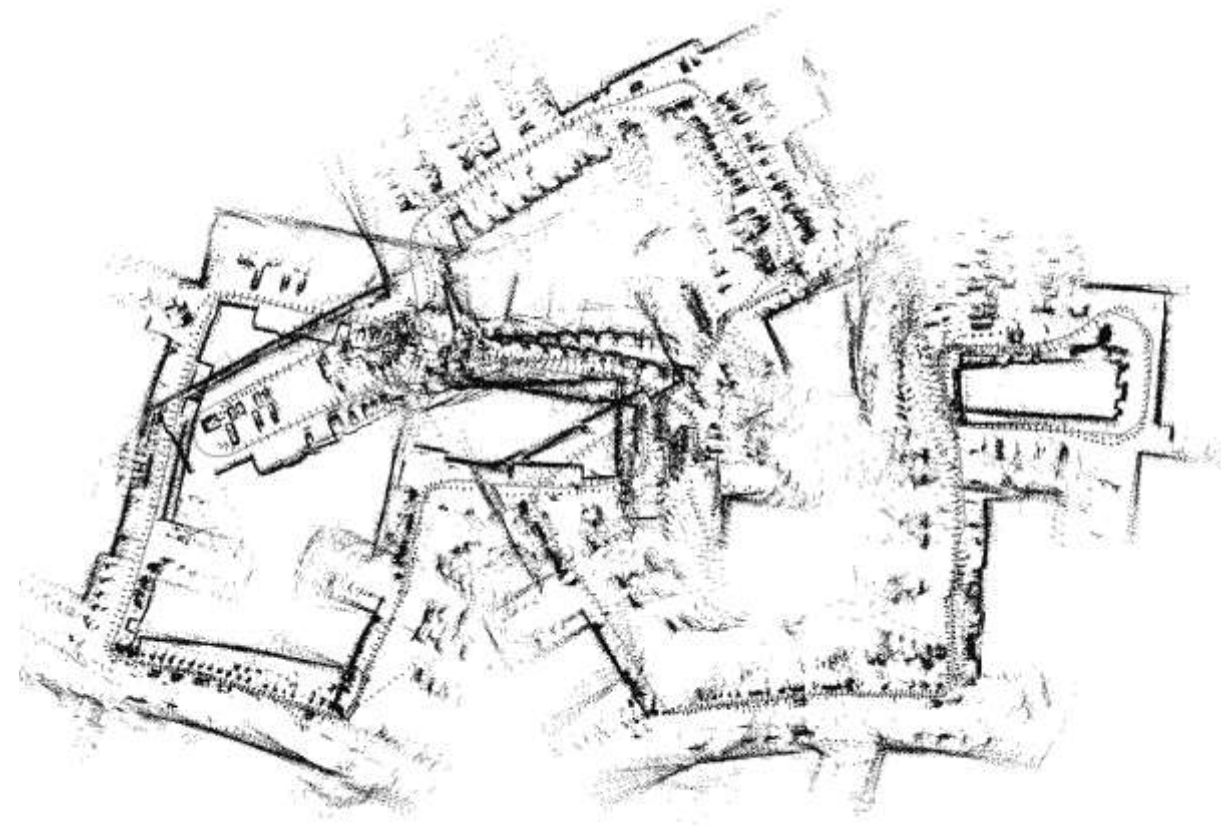
► Pose del Robot -.-► Restricción

SLAM basado en grafos

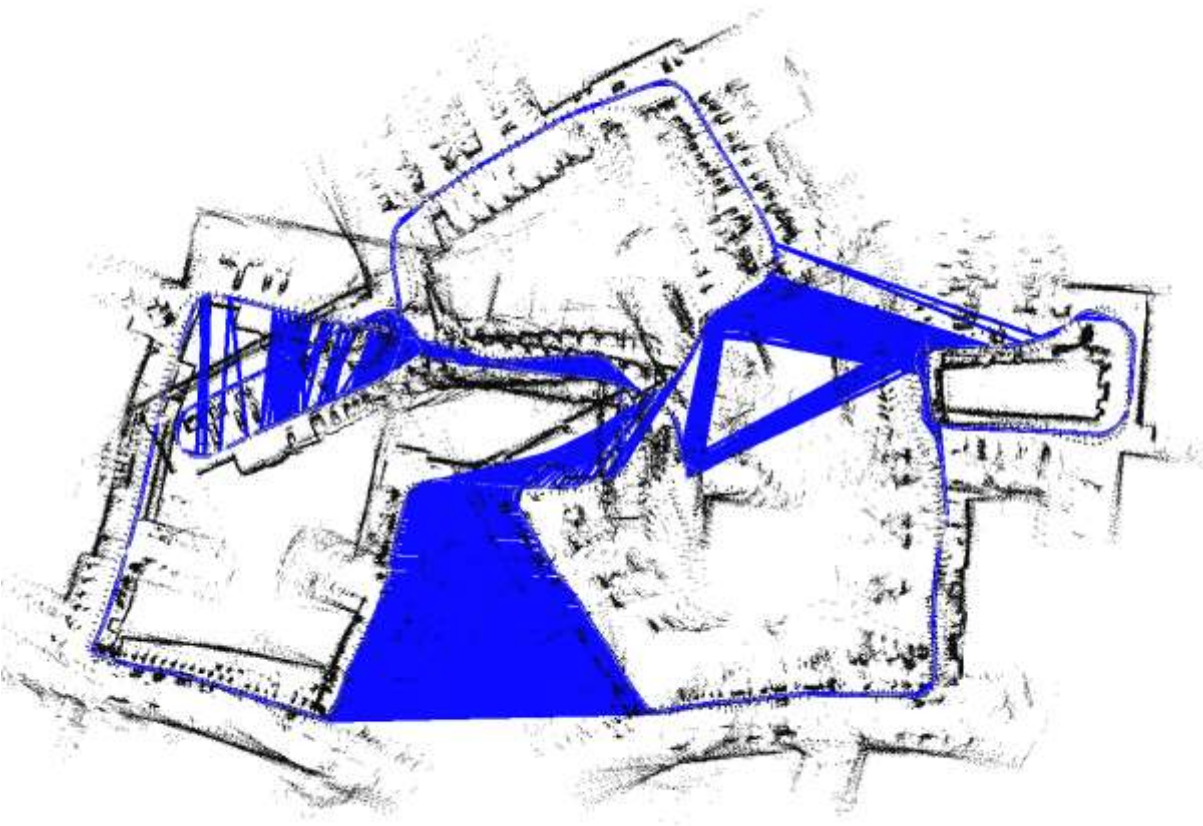
- Al observar áreas ya visitadas se generan restricciones entre poses **no sucesivas**



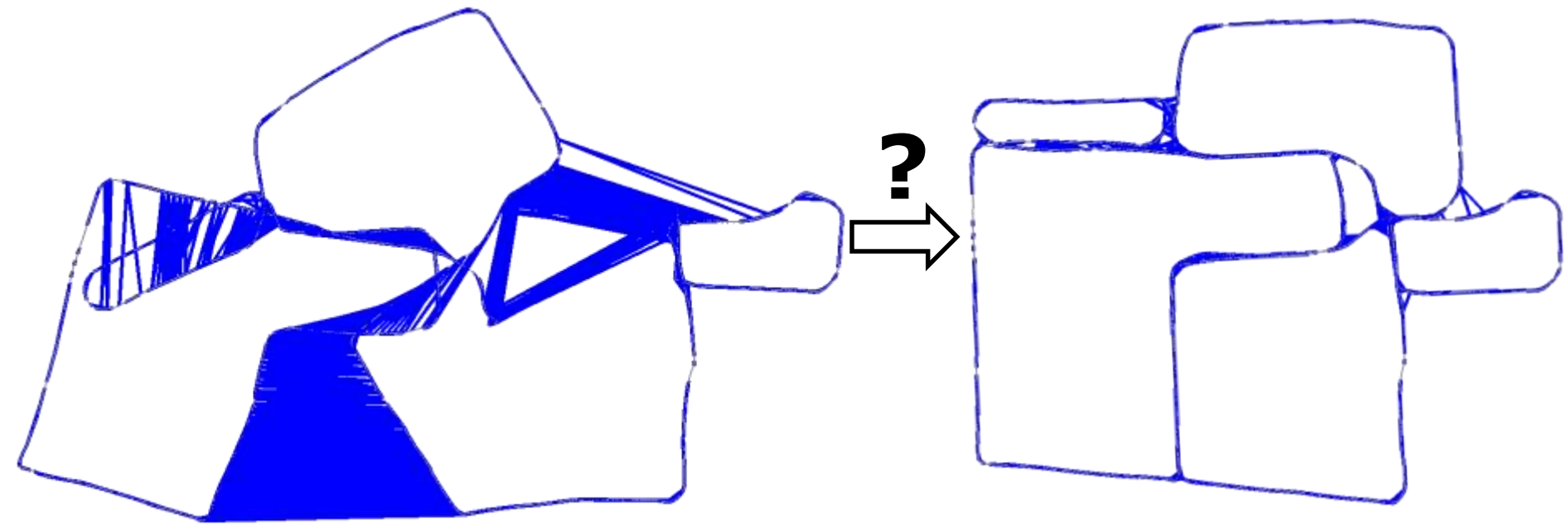
Ejemplo: Mapa de odometría



Ejemplo: Cierre de lazos



¿Cómo corregir la trayectoria?



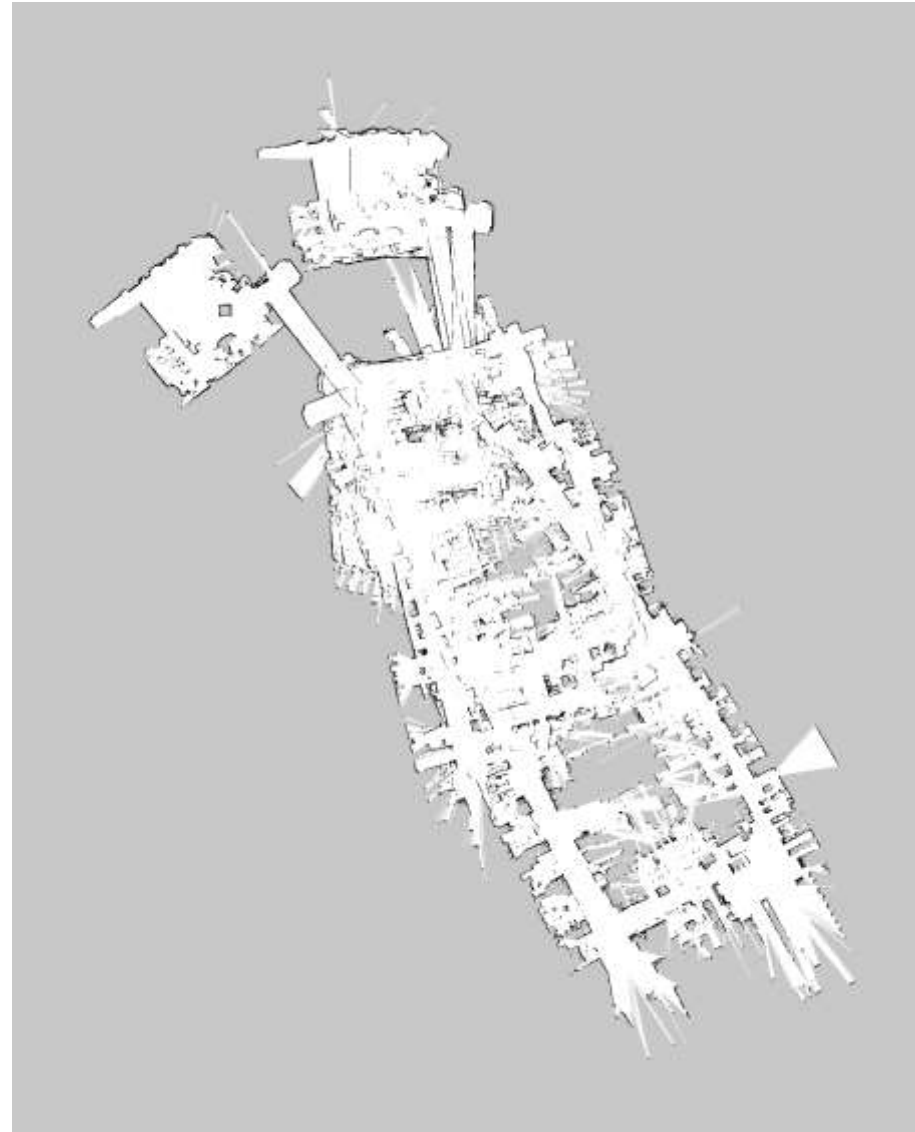
Imaginarlo como un sistema de masa-resorte

SLAM basado en grafos

- Usar un **grafo** para representar el problema
- Cada **nodo** en el grafo corresponde a una pose del robot durante el mapeo
- Cada **arco** entre dos nodos corresponde a una restricción espacial entre ellos
- **SLAM basado en grafos:** Armar el grafo y encontrar la configuración de nodos que minimiza el error introducido por las restricciones

SLAM basado en grafos - Conceptos

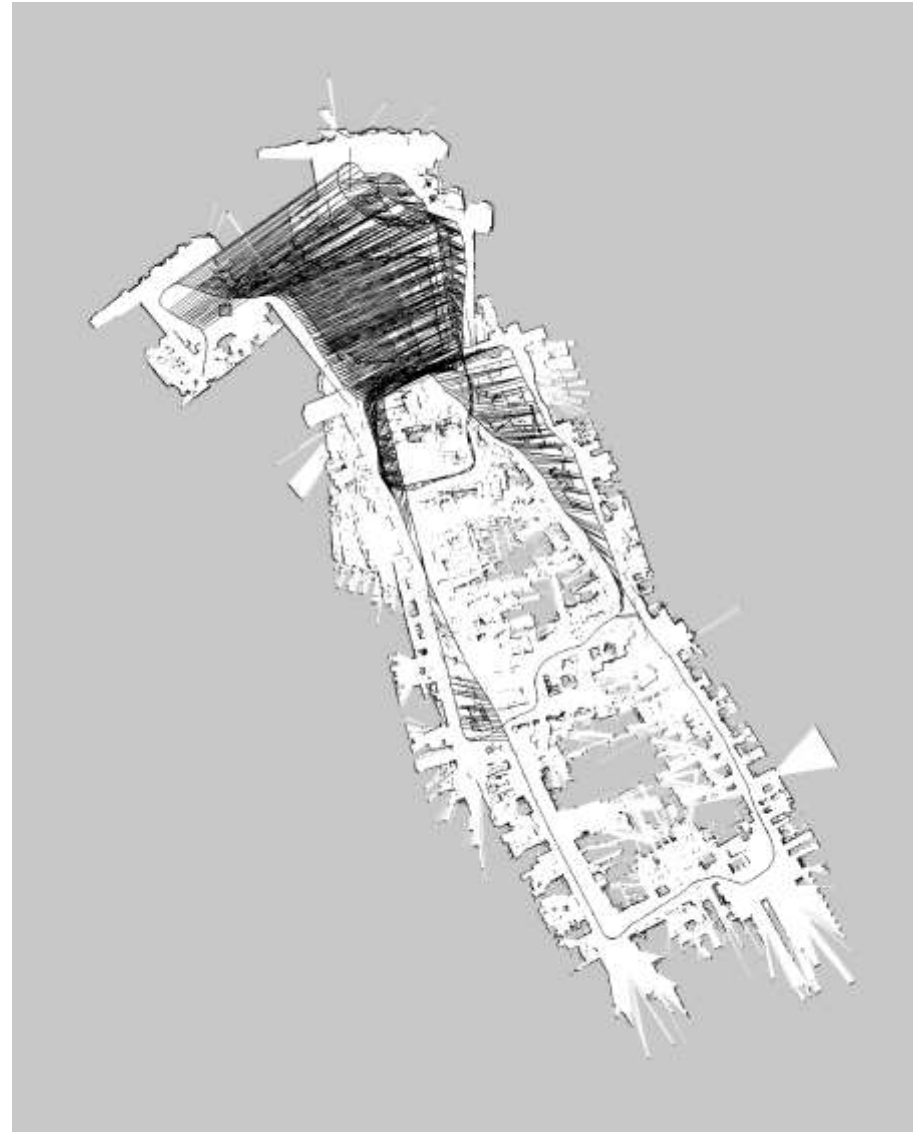
- Cada nodo en el grafo corresponde a una pose del robot
- Un arco entre dos nodos representa una restricción espacial entre nodos



KUKA Halle 22, cortesía de P. Pfaff

SLAM basado en grafos - Conceptos

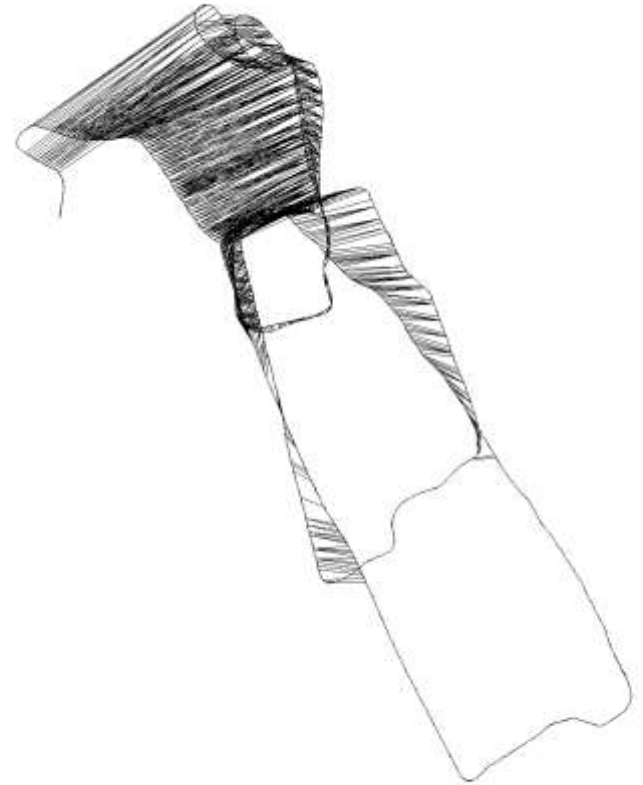
- Cada nodo en el grafo corresponde a una pose del robot
- Un arco entre dos nodos representa una restricción espacial entre nodos



KUKA Halle 22, cortesía de P. Pfaff 10

SLAM basado en grafos - Conceptos

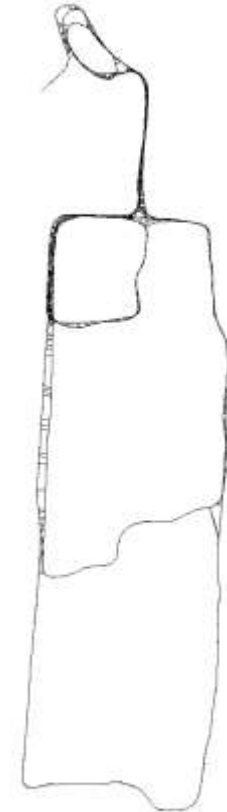
- Una vez armado el grafo, determinamos el mapa más probable corrigiendo los nodos



SLAM basado en grafos - Conceptos

- Una vez armado el grafo, determinamos el mapa más probable corrigiendo los nodos

... así:

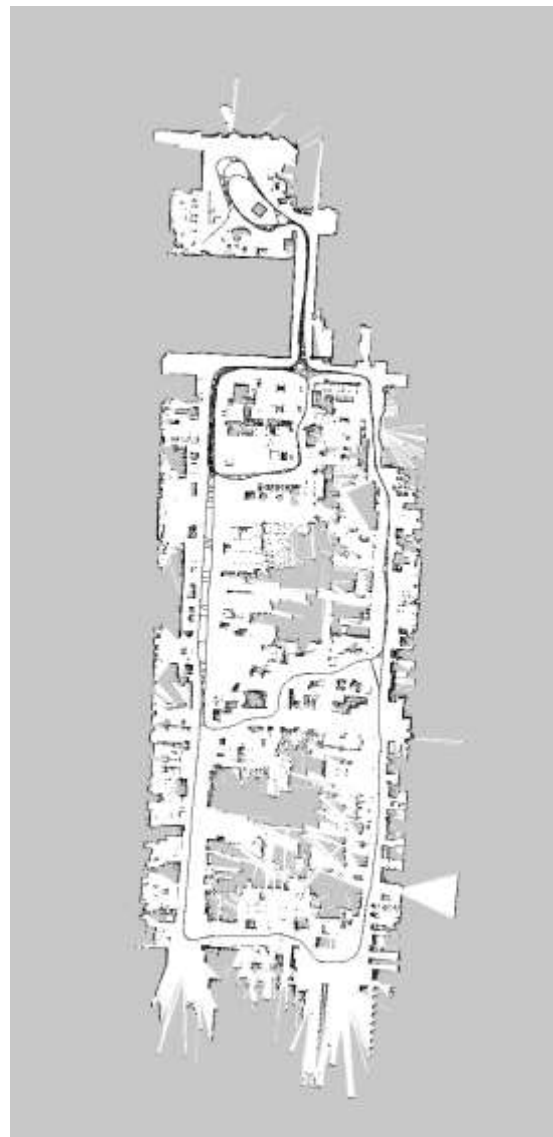


SLAM basado en grafos - Conceptos

- Una vez armado el grafo, determinamos el mapa más probable corrigiendo los nodos

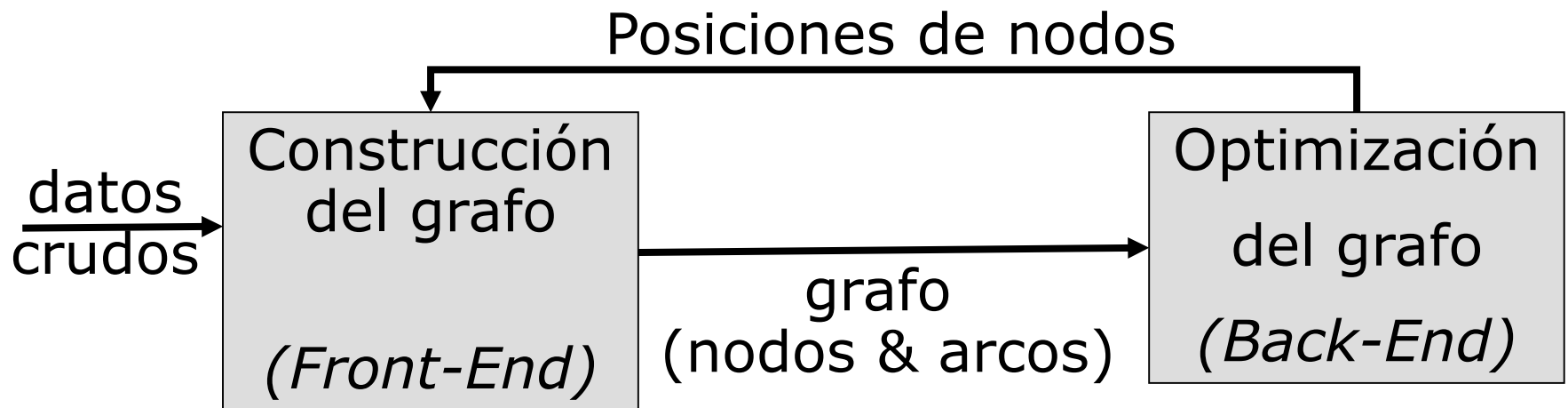
... así:

- Después, podemos armar el mapa basado en las poses conocidas



Estructura completa de GraphSLAM

- Interacción de front-end y back-end
- Un mapa consistente ayuda a determinar nuevas restricciones al reducir el espacio de búsqueda
- Iteración construcción-optimización



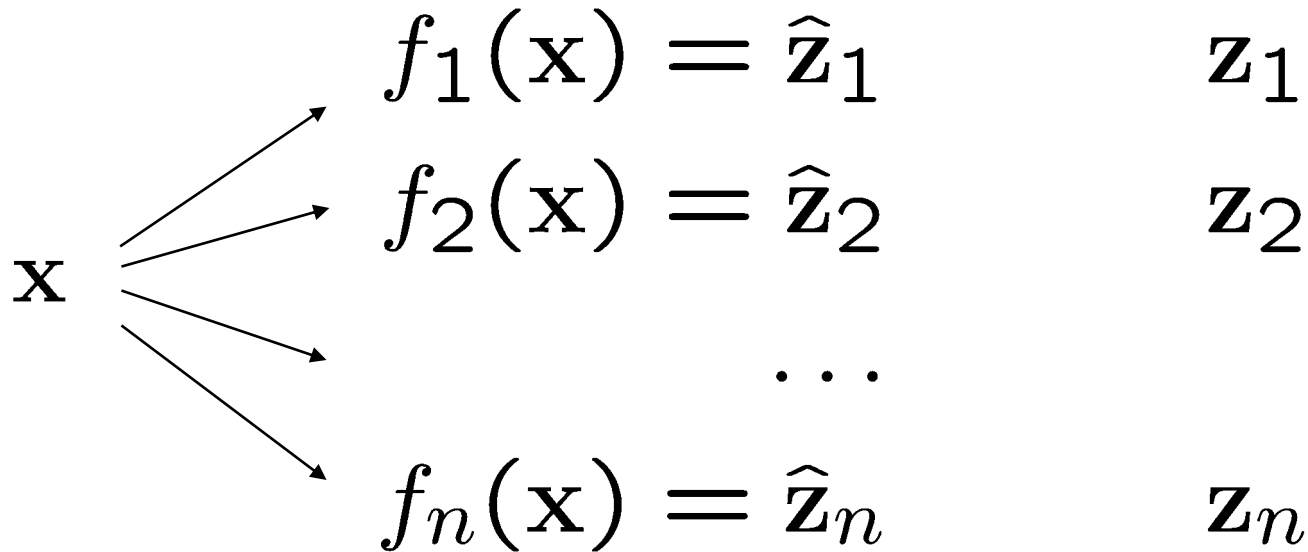
Conceptos de cuadrados mínimos

- Método para calcular soluciones para **sistemas sobredeterminados**
- “Más ecuaciones que incógnitas”
- Minimiza la suma **de los errores al cuadrado** del sistema
- Método estándar para muchos problemas de ingeniería

Problema

- Dado un sistema descrito por un conjunto de n funciones de observación $\{f_i(\mathbf{x})\}_{i=1:n}$
 - Sea
 - \mathbf{X} el vector de estados
 - \mathbf{Z}_i la medición del estado \mathbf{X}
 - $\hat{\mathbf{z}}_i = f_i(\mathbf{x})$ la función que mapea \mathbf{X} a la medición esperada $\hat{\mathbf{z}}_i$
 - Dadas n mediciones ruidosas $\mathbf{Z}_{1:n}$ del estado \mathbf{X}
- ➡ **Objetivo:** Estimar el estado \mathbf{X} que mejor explica las mediciones $\mathbf{Z}_{1:n}$

Explicación gráfica



estado
(desconocido)

mediciones
esperadas

mediciones
reales

Función de Error

- El error e_i es la **diferencia** entre la medición **esperada y la actual**

$$\mathbf{e}_i(\mathbf{x}) = \mathbf{z}_i - f_i(\mathbf{x})$$

- Suponemos que el error tiene **media cero** y está **distribuida normalmente**
- Error Gaussiano con matriz de información $\mathbf{\Omega}_i$
- El error cuadrado de una medición depende sólo del estado y es un escalar

$$e_i(\mathbf{x}) = \mathbf{e}_i(\mathbf{x})^T \mathbf{\Omega}_i \mathbf{e}_i(\mathbf{x})$$

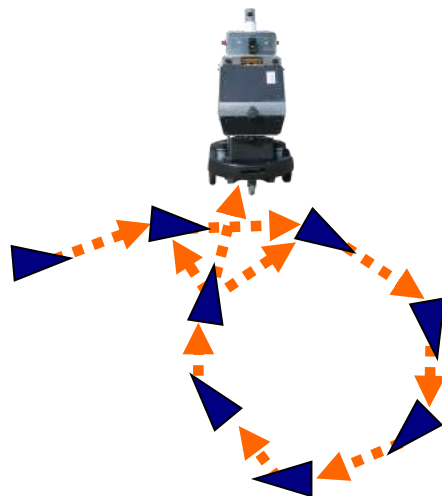
Cuadrados mínimos para SLAM

- Sistema sobre-determinado para estimar las poses del robot dadas las observaciones
- “Más observaciones que estados”
- Minimiza la **suma de los errores al cuadrado**

Nuestro interés: Aplicación a SLAM

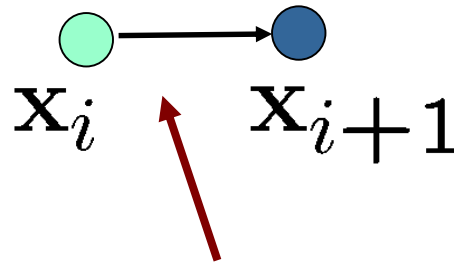
El Grafo

- Consiste en n nodos $\mathbf{x} = \mathbf{x}_{1:n}$
- Cada \mathbf{x}_i es una transformación 2D o 3D (la pose del robot en el tiempo t_i)
- Una restricción/arco existe entre los nodos \mathbf{x}_i y \mathbf{x}_j si...



Crear un arco si... (1)

- ...el robot se mueve de x_i a x_{i+1}
- el arco corresponde a la odometría

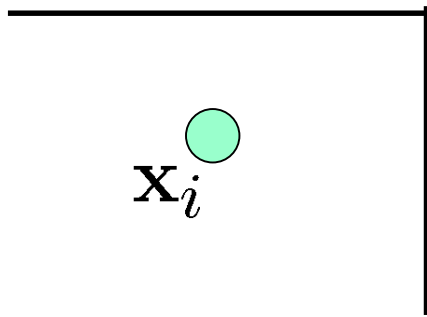


Este arco representa la medición de **odometría**

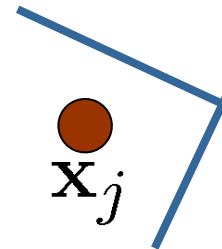
$$[x_{(i+1)} - g(u, x_i)]^T R^{-1} [x_{(i+1)} - g(u, x_i)]$$

Crear un arco si... (2)

- ...el robot observa la misma región del entorno desde x_i y desde x_j
- Construir una **medición virtual** de la posición de x_j vista desde x_i



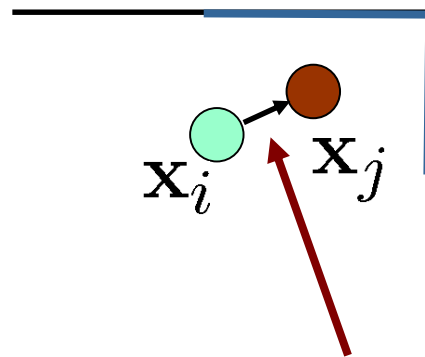
Medición desde x_i



Medición desde x_j

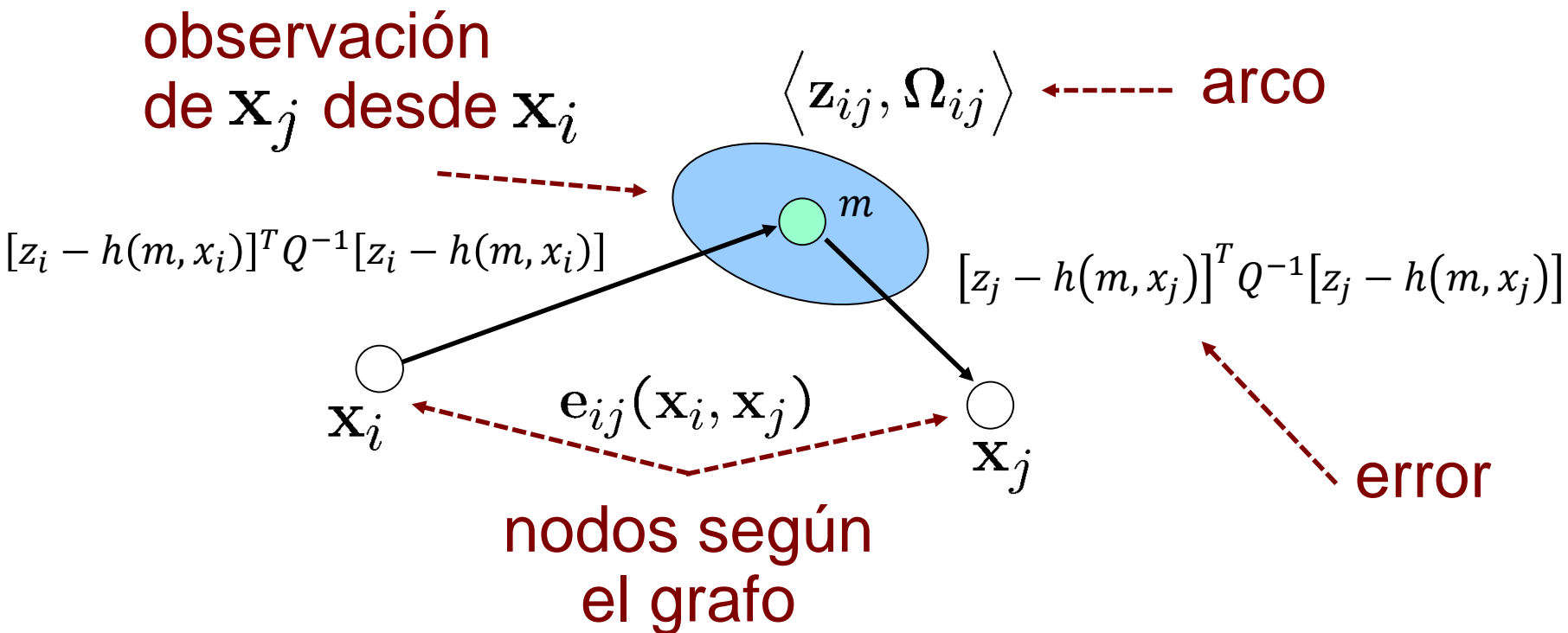
Crear un arco si... (2)

- ...el robot observa la misma región del entorno desde x_i y desde x_j
- Construir una **medición virtual** de la posición de x_j vista desde x_i

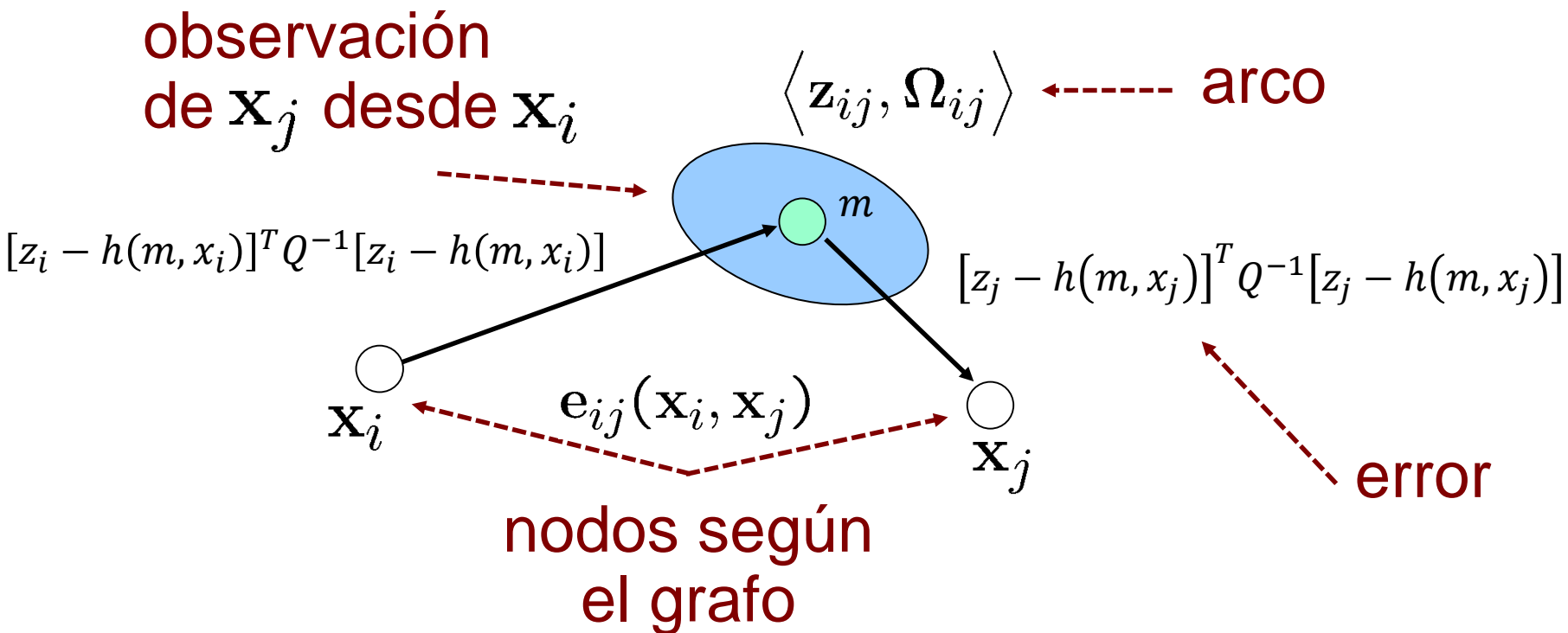


El arco representa la posición de x_j
vista desde x_i basada en la
observación

Grafo de pose



Grafo de pose



Objetivo: $\mathbf{x}^* = \underset{\mathbf{x}}{\operatorname{argmin}} \sum_{ij} \mathbf{e}_{ij}^T \Omega_{ij} \mathbf{e}_{ij}$

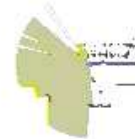
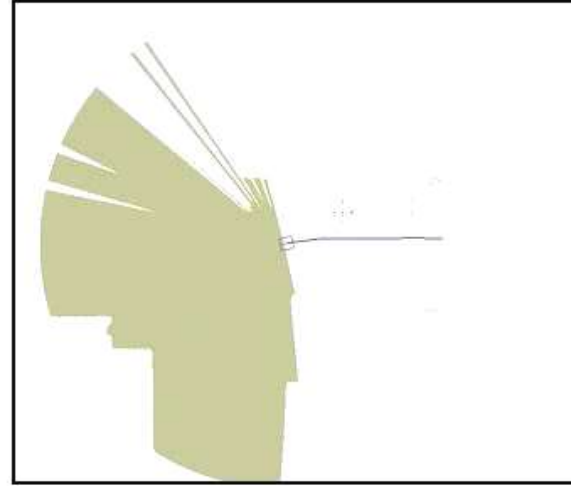
Gauss-Newton: Procedimiento de minimización del error global

- Definir la función de error
- Linealizar la función de error
- Calcular su derivada
- Igualar la derivada a cero
- Resolver el sistema lineal
- Iterar hasta lograr convergencia

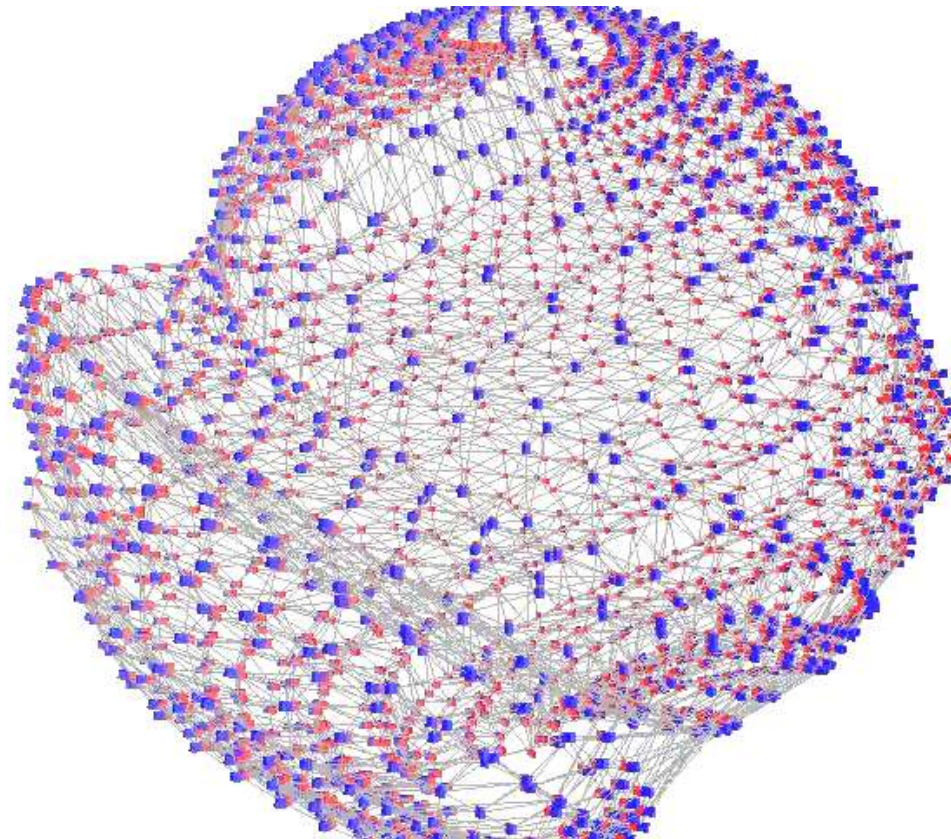
Sparse Pose Adjustment



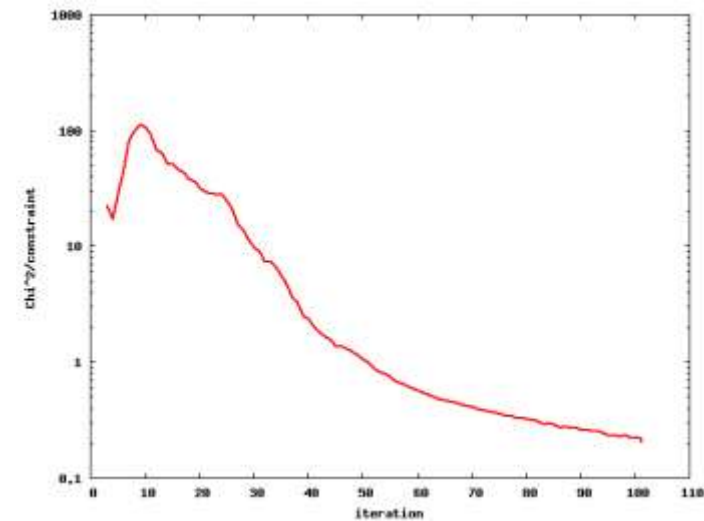
Ejemplo: Campus Univ. de Freiburg



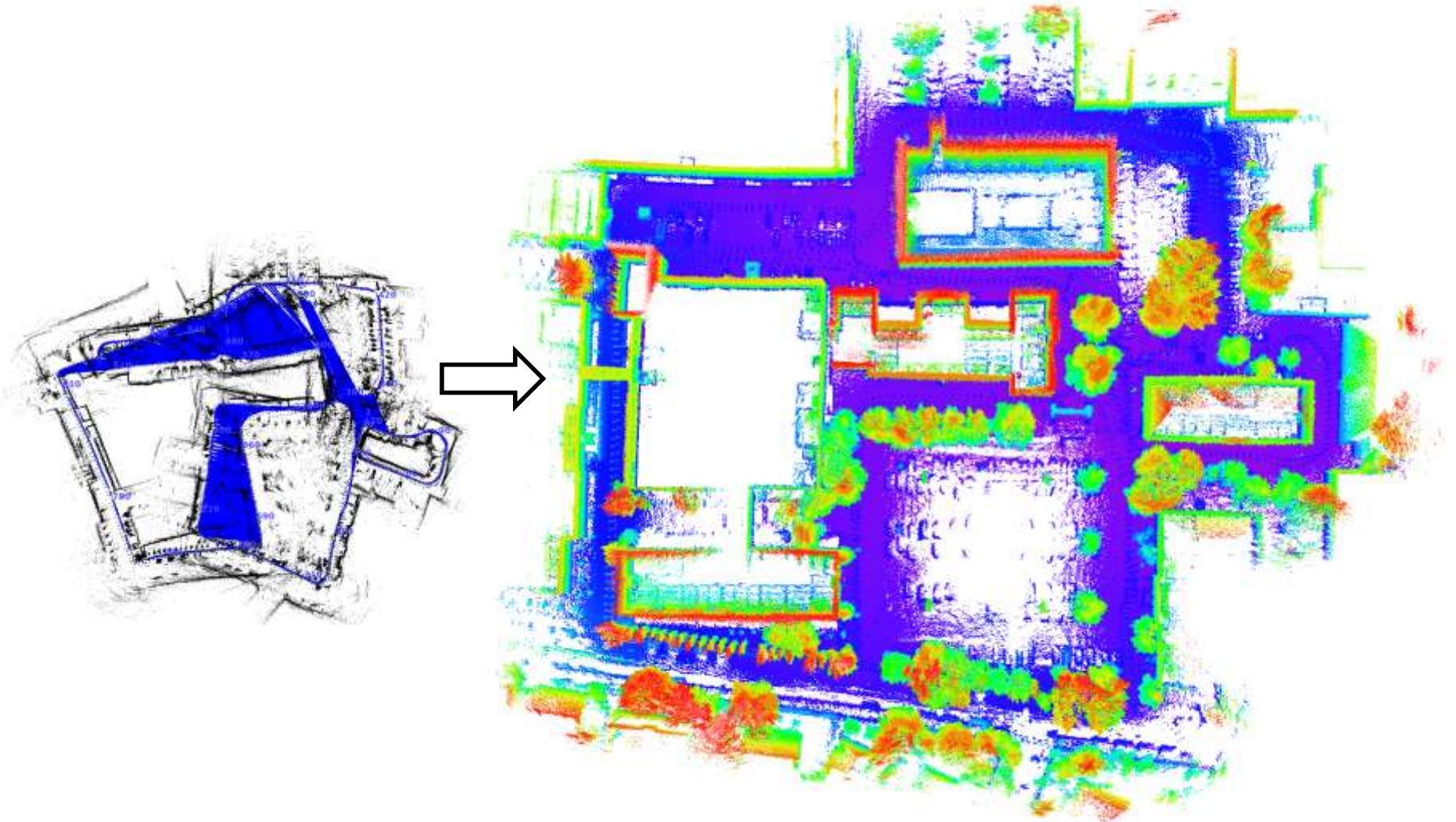
Existen variantes para 3D



- Grafo altamente conectado
- Estimación inicial mala
- 2200 nodos
- 8600 restricciones



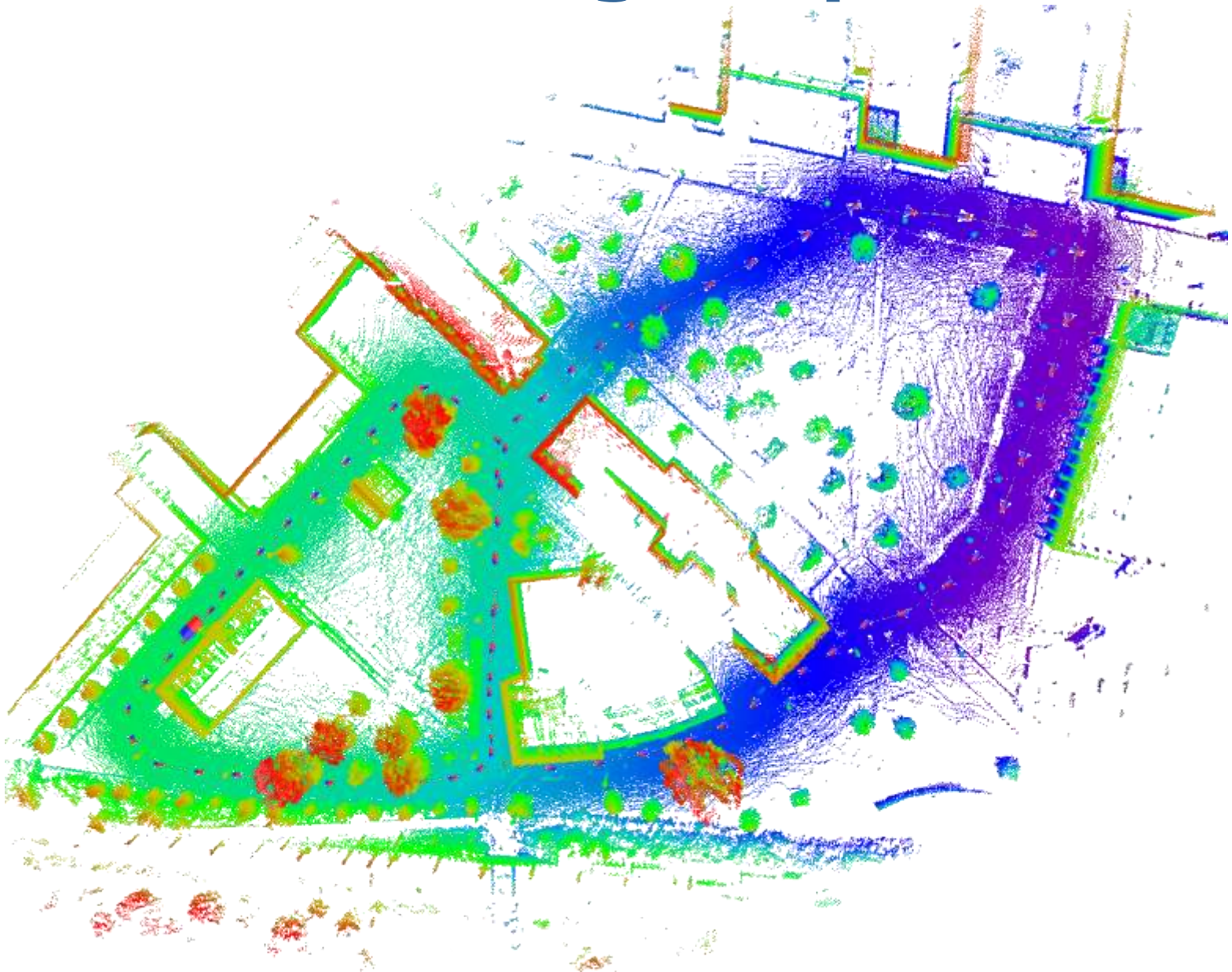
Hanover2: SLAM con Mapa 3D



Univ de Freiburg: Mapa con Scan Matching



Univ de Freiburg: Mapa

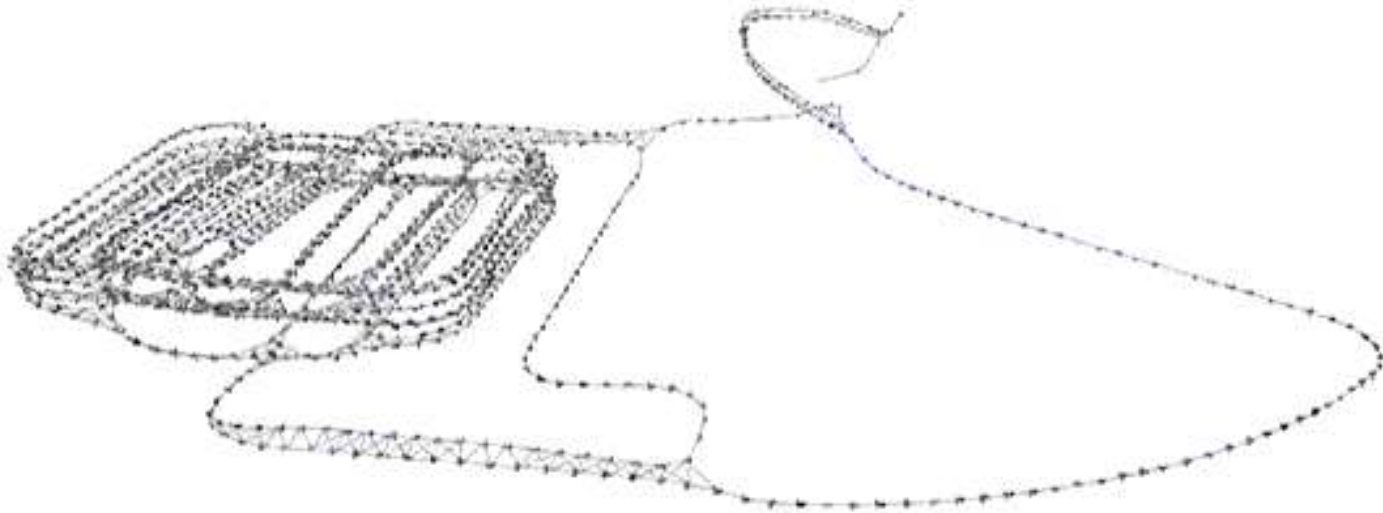


Ejemplo: Estacionamiento en Stanford

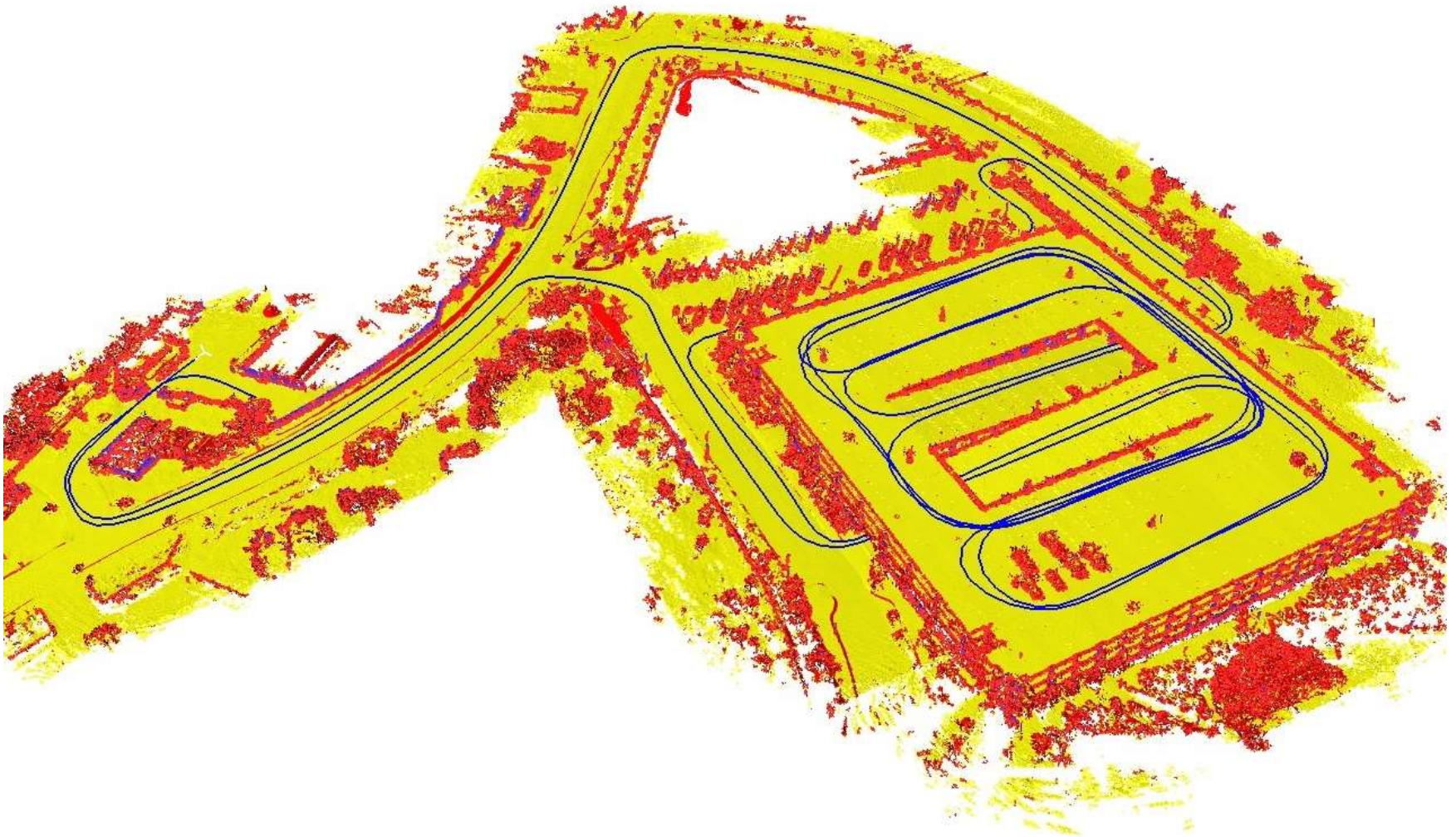
- Tarea: Llegar a un lugar determinado para estacionar en la terraza del garaje.



Ejemplo: Estacionamiento en Stanford

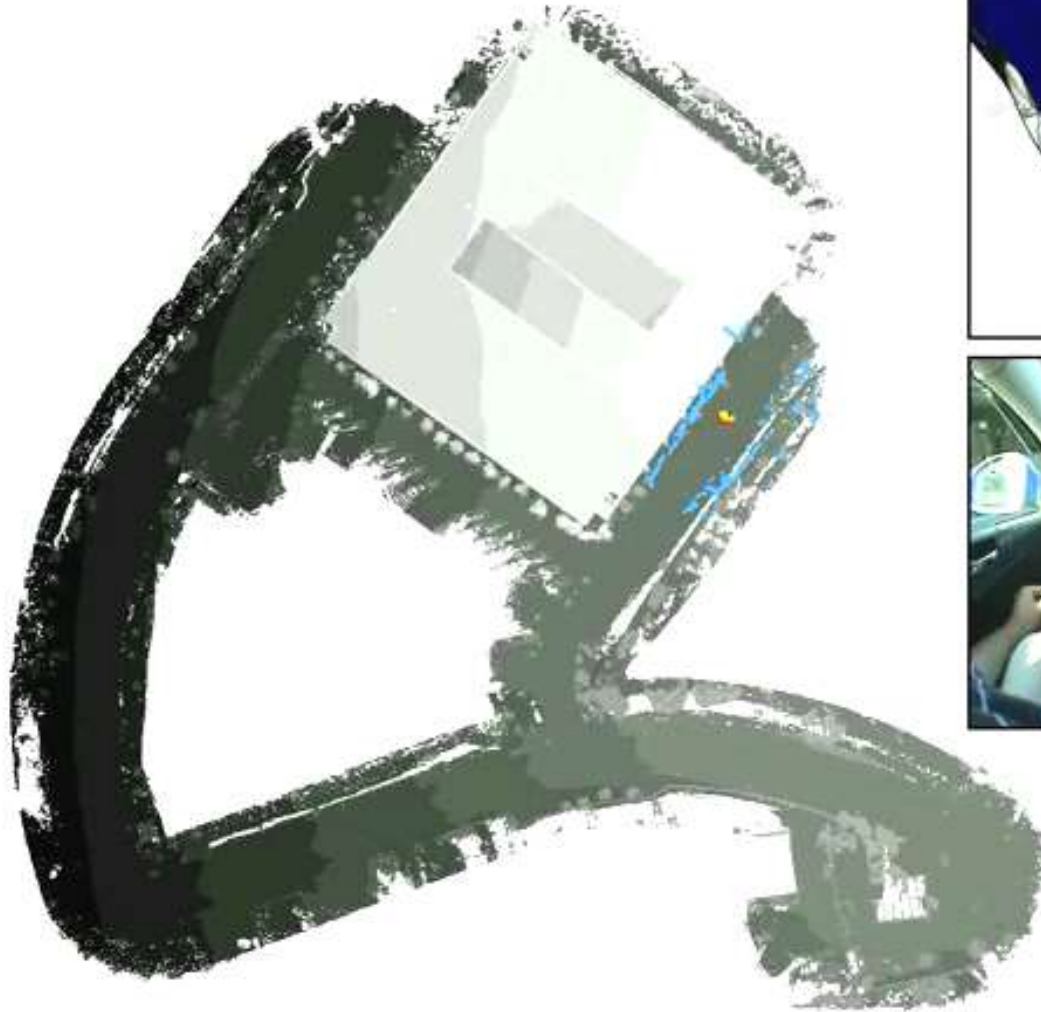


Mapa 3D del estacionamiento de Stanford

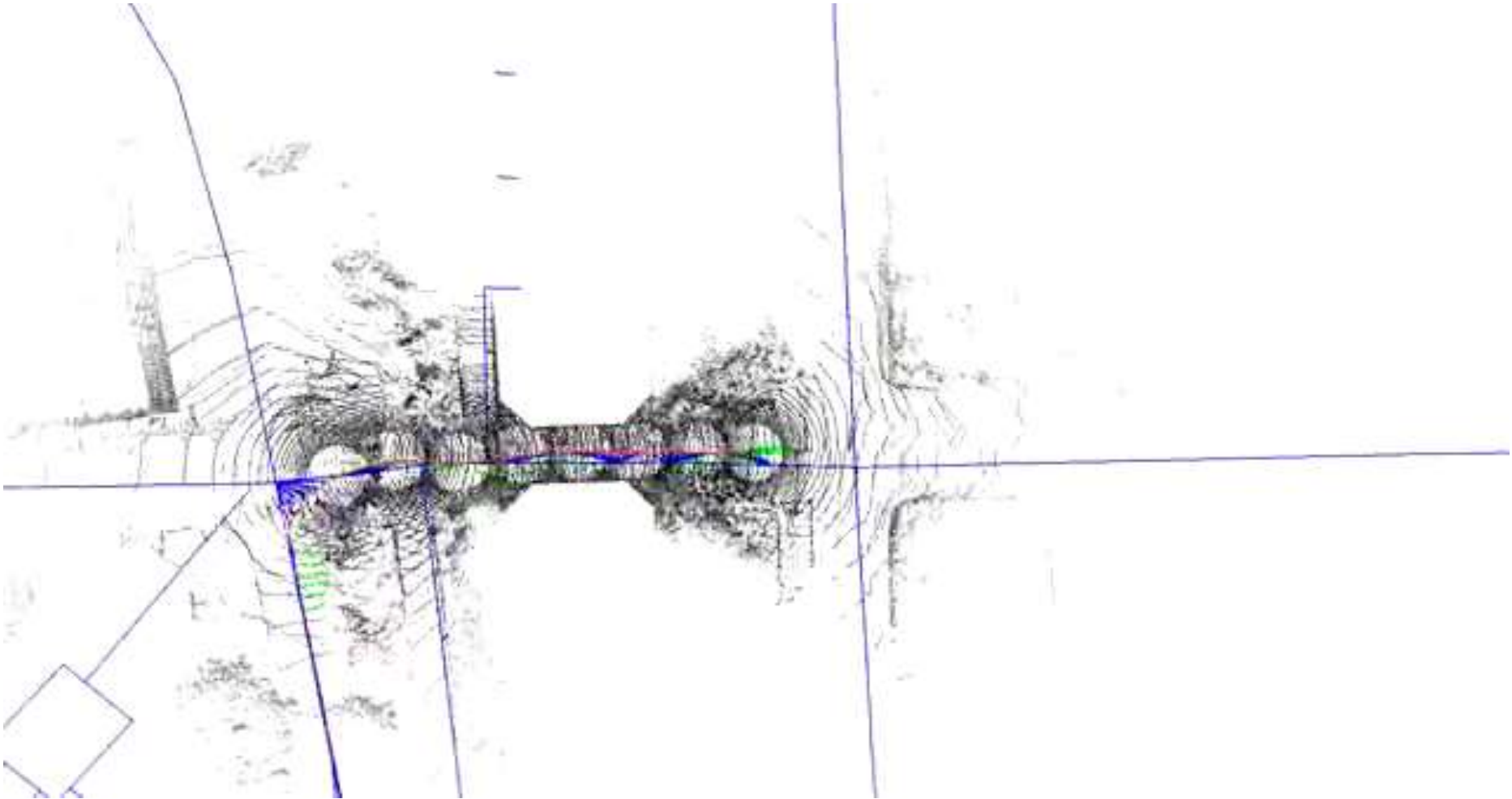


aprox. 260MB

Estacionamiento autónomo



SLAM con grafos con más sensores



SLAM con grafos es flexible en cuanto al agregado de información adicional (GPS, IMU, info de calles, ...)

Resumen

- El back-end del problema de SLAM puede resolverse de manera efectiva con minimización de error de Gauss-Newton
- Las funciones de error calculan las discrepancias entre el estado y las observaciones
- Es actualmente una de las soluciones del *estado del arte* para SLAM