

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

營建工程施工機具作業現場及時管控系統之研究

計畫編號：88-2211-E-002-011-

執行期限：民國 87 年 8 月 1 日起至民國 88 年 7 月 31 日

主持人：曾惠斌 國立台灣大學土木工程學系

中文摘要

施工機具的現場作業規劃及管控對於施工進度、現場配置、施工安全性都有直接的影響力，且更間接地影響到整體施工排程、工程品質及成本。而且，如果在空間配置和機具運輸上產生任何施工問題、交通滯塞、作業擔擱、以及不當的安排，都會因而降低施工進度，並且導致低劣的工作品質以及影響工作人員的安全。所以，如何有效地管理及事前完善的作業規劃，對現場施工人員而言，實是當務不容克緩的重要課題。

對於其他型態的作業來說，施工流程也需要交通、倉庫、以及手動或是機器搬運的預鑄(像是土壤、混凝土、鋼筋、或是磁磚)。這些空間上的問題牽涉到三個東西，分別是物料、機器、和人力。這篇研究將提出及時管控系統，這是一個發展出用來協助設計師達到高效率施工現場配置的工具。這個工具可以使機器正常運作，並且達到工作流程的進度。在施工階段中，執行者、督導者、以及工頭可以使用及時管控系統模擬預先施工計畫中的交通工具以及機器。另外，將及時管控系統與全球衛星定位系統連結在一起，藉由在工地使用立即定位的3-D幾何模式可以計算出比較符合時效的交通路徑以及路障。

關鍵詞：施工機具管理、施工作業規劃、及時管控、工地配置

Abstract

Motion planning and controlling for construction vehicles and equipment in infrastructure projects have a critical impact on productivity, safety, space management, operation sequencing, scheduling and cost. For other types of projects, construction processes also need to transport, store, and fabricate materials (such as soil, concrete, reinforcing steel, masonry bricks) manually or by using equipment. This class of space-oriented problems involve three objects, including materials, equipment and human. Any congestion, interference, or improper arrangement related to these space and transportation issues can reduce productivity, result in poor-quality

work, and affect workers' safety. This research will develop a real-time motion planning and controlling system, that will assist designers in efficient job-site layout. The system will enable proper equipment movements and sequences to be achieved. During the construction phase, project manager(s), superintendent(s), and foremen can use this system to simulate the operation processes of construction vehicles and equipment in preplanning a project. Furthermore, linking this system to a Global Positioning System (GPS), the efficient traffic routing and collision-free path for each piece of equipment can be calculated by using their real-time positions in a 3-D geometric model of the construction site. To demonstrate the proposed system, examples using earthmoving operations are presented.

Keywords : GPS, Motion Planning, Construction Sequence

1.緣由與目的

目前國內由於營建人力之不足，故推行營建自動化已是刻不容緩的一件事。而在一營建工地中，若能以自動化之機具來進行營建土方之搬運，不但能達到節省人力需求之目的，且為發展營建自動化一重要里程碑；但一自動化之機具如何在工地內自由順利運行，而不受工地內障礙物之阻擋，卻是發展此自動化之前，所必須研究之前置作業，因此選擇最佳路徑之研究，便是本研究之主要研究動機。

本研究計畫之目的即在於建立一個有效的營建工地管控模式，並開發一套完整的施工機具動線規劃與即時控制系統，以協助工地配置的設計以及專案經理對於工程的即時管控。所利用的資訊工具為全球定位系統與自行開發之求解多量機具最佳路徑的演算法。

綜合而言，本計畫有下列四點重要性：

- (1) 即時提供專案經理與工地主任所需資訊，以協助其施工管控。
- (2) 機具動線、物料運送與人員的管理。
- (3) 配合自動化工法與機械，全面提升營建自

動化的效益。

- (4) 以成熟的定位技術提高施工精度與品質，提供定位技術於營建工程之應用參考。

研究步驟依序包括：(1)基本工地元件模式之建立：包括施工空間、物料與機具三部份，主要工作在於歸納整理該三者的本質與特性，將該特性分類，最後建立系統所需之元件模型。元件建立乃以層級化為主要的原則，以方便後續機具動線規劃模型之建立。(2)機具動線規畫模型之建立：以各基本工地元件模型為基礎，進行機具動線規畫電腦模型的架構。此步驟為本計畫最重要之環節，難度最高，預期的困難也最多。(3)軟體之撰寫：依據機具動線規畫模型，進行系統程式的撰寫，預期使用 Visual C++ Version 5.0 為系統開發語言，視窗環境為測試平台。其中亦需熟悉GPS系統之輸入輸出，以設計出親和力高的使用者介面。

2. 結果與討論

2.1 基本工程元件空間模式之建立

本計畫之施工物料定義為：除人員機具外，工地周遭任何型態種類的資源。諸如土壤、鋼筋、混凝土或紅磚等等，皆屬佔用施工空間的一種物料。施工廢棄物亦為需自施工空間移除的一種物料。施工物料的各项基本性質包括單位尺寸、數量、需求及所需機具等等。根據這些性質，施工物料的功用與特性可輕易地加辨認與維護，而施工人員與物料在施工空間上之紀錄方式，可利用電腦資料結構技術之四分樹理論(Quad-tree structure)來建立[4]。

施工機具皆有其特定的功能、尺寸、迴轉半徑以及承載力。施工機具的基本性質包括承載力、尺寸、需求、速限、迴轉半徑、動力等[1,2]。根據這些基本性質加以延伸，可得到機具的功用、時程與特質，並可隨時更新。機具的即時位置可藉由GPS接收器獲得。每種施工機具皆有其尺寸與可及範圍。典型的施工機具尺寸與可及範圍的簡單示意如圖1所示。一般而言，無作業手臂的施工機具，其尺寸可以機具

面積的寬度加上安全距離表示。而有作業手臂的施工機具，其尺寸表為機具面積之寬度加安全距離、作業手臂長度以及施工範圍 (loading area) 等之總合[3,5]。

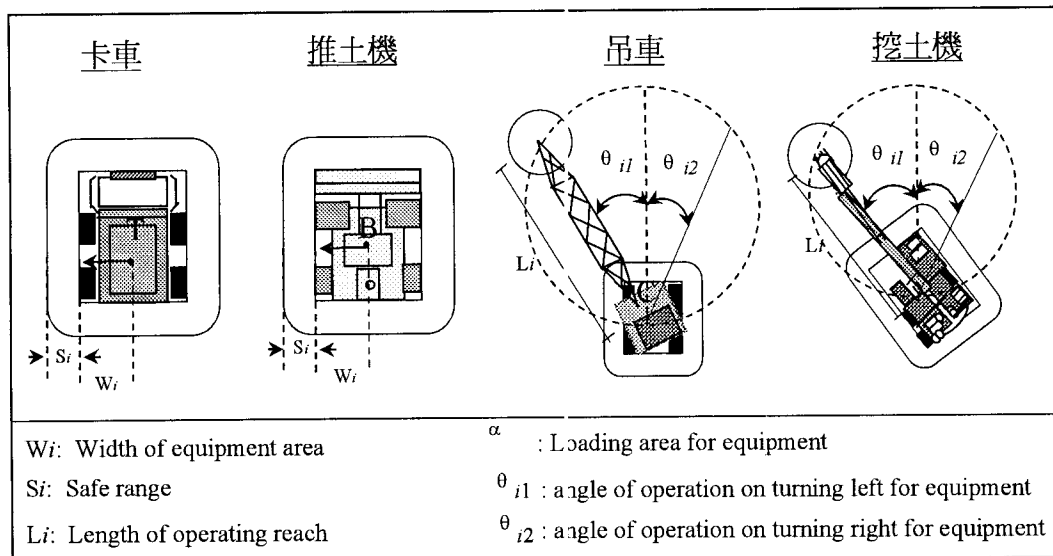


圖1 營建機具尺寸示意圖

2.2 機具動線規劃模型之建立

首先利用GPS全觀測站將實際工地繪成CAD圖檔，成為工地幾何的原始資料，再以Quadtree資料結構[6]將其儲存，其後藉由Cspace演算法[7]，將各機具的實際尺寸，轉為代表禁行位置的所在，該機具於此Cspace的幾何轉換模型中均只成為一點。由於一個營造工地通常擁有許多機具，因此電腦處理的時間與記憶體對於即時的路線規畫將是一項重要的決定因素。再利用 Z-mapping 演算法

[8]將結果映射為一個2.5維的幾何模型。最後，再以 *k-shortest path* 演算法以及GPS接收器即時定點輸入值，即本系統所得之各施工機具的最佳路徑 (collision-free paths)。圖2為工地空間幾何電腦模型建構之流程圖。

- (1) 利用 GPS 即時更新施工現場的幾何模式

利用GPS全觀測站測得實際工地的幾何數據資料，與CAD圖檔整合以建立工地幾何的原始資料。GPS全觀測站是位於工地或建築物中，GPS

測量與導航的整合觀測站[9]。GPS接收器不僅可安裝在施工機具上，也可於施工中由觀測員或專案經理人攜帶。而且，收訊有效範圍亦可藉由強

波器 (multiple repeaters.)加以擴展，基礎觀測站可與工地周邊的 GPS 網路系統相連結。

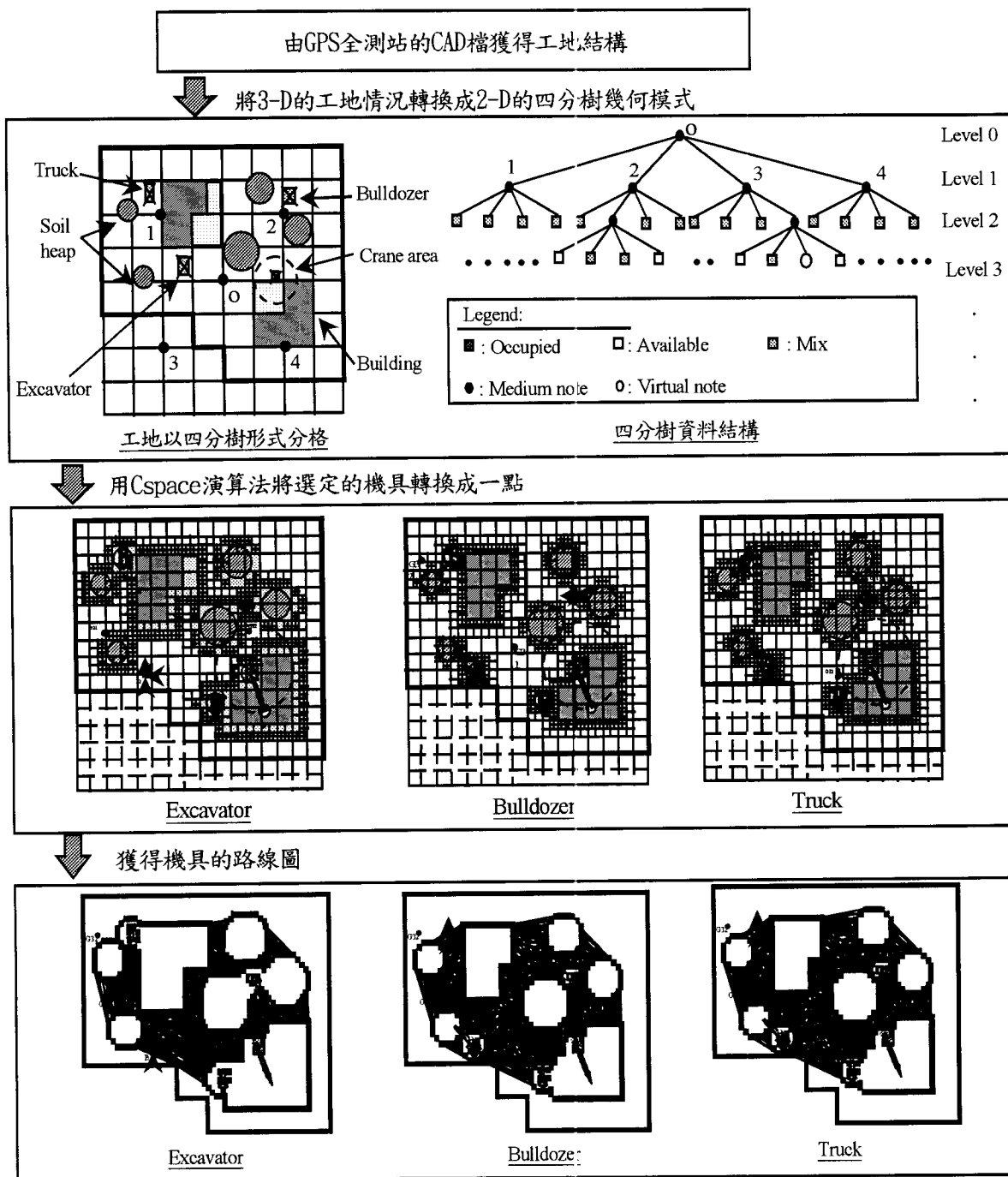


圖 2 工地空間幾何電腦模型建構流程圖

(2)四分樹的結構(Quadtree structure)[6]

利用Quadtree表示法[6]來遞迴分割圖形得到工地幾何原始資料後，便需將該資料以特殊資料結構儲存以便後續之最佳路徑的計算。由於直接處理3-D幾何模型十分耗時，因此該3-D模型可於資料處理的同時，先投影成2-D平面圖。Quadtree 演算法利用層級定位結構遞迴分割已

佔用或其他可用空間，如圖3。於Quadtree資料結構中，每一節點代表一個區域，並根據該區域的位置相對於一組已分割區域加以特定顏色標示，該顏色乃紀錄次區域的特性。在一個Quadtree資料結構中，有以下四種節點顏色：(1)白色(WHITE)：表可用節點 (2)灰色(GRAY)：表涵蓋一或多個已用節點或虛擬節點的混合節點 (3)黑色(BLACK)：表已用節點 (4)黑線

(BLACKLINE)：表虛擬節點，如圖4。

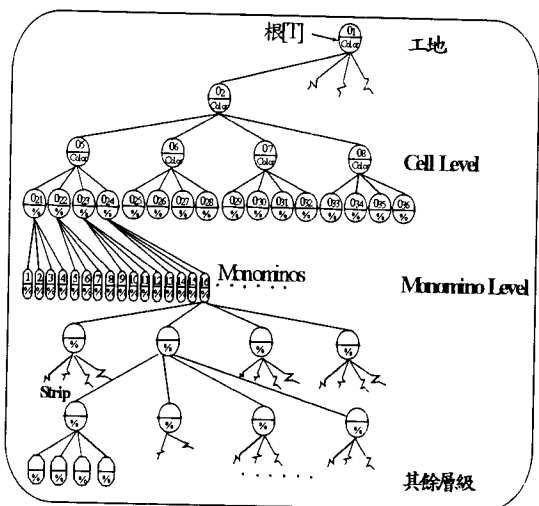


圖3 四分數結構圖

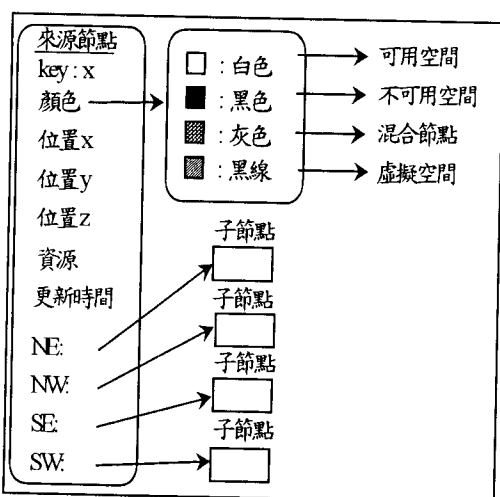


圖4 四分數節點的儲存內容

(3)利用 CSpace 演算法模擬機具防撞路徑

所謂防撞，即是可動性的施工機具避免與工地其它物件發生碰撞，一般的情況即是該機具接近任何障礙物時，保持一定的安全距離。然而，機具的尺寸不一，且用機具實際尺寸加以運算，過程明顯將十分的複雜。因此，若能將各機具縮為一點，而將障礙物依機具尺寸加以放大（即障礙物原尺寸加上機具尺寸及一定之安全距離），即可模擬真實情況，同時兼顧程式運算時間。CSpace演算法即以相同原理，依工地各障礙物的尺寸，將機具轉為擁有運動向量、最大後退

距離與回轉半徑的一點。而原有的障礙物則膨脹為自身寬度加上機具安全距離的 CSpace 障礙物，如圖5。

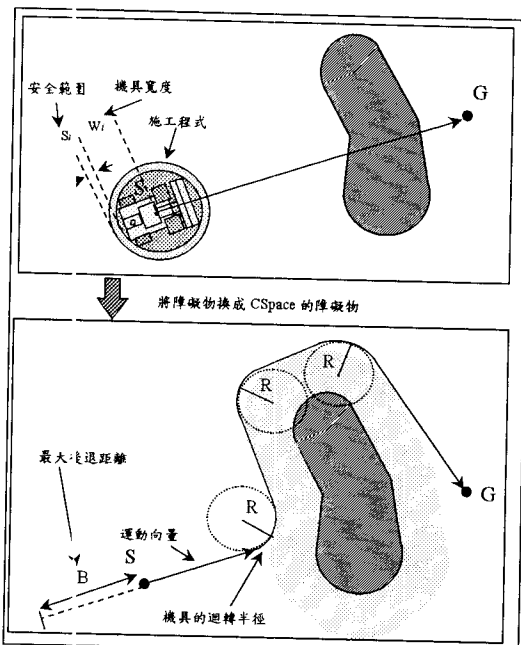


圖5 Cspace 的障礙物

(4)用 Z-Mapping 演算法[10,11]來模擬 3-D 地形網圖

Z-mapping 演算法是藉由改變節點的Z座標為3-D輪廓的Z座標，將2-D網圖投影至工地的3-D輪廓。因此，該網圖可應用於工地粗糙的地表狀況。因為一般情況下，Quadtree結構都會有為數可觀的節點，因此在合理的CPU時間下想直接從Quadtree結構中選定一條防撞路徑常無補於事。為解決此問題，我們儘可能在Quadtree結構中建立小型的網圖。在該網圖中，每一節點對應於被障礙物佔據的Quadtree節點。對某一機具找出所有涵蓋於特定 CSpace 中障礙物的邊界後，則點對點連線即可建立且不會與任何障礙物重疊。此處的網圖是由涵蓋障礙物邊界的Quadtree節點連接而成。而且，由於Quadtree結構的網圖為一2-D的平面結構，因此該網圖可藉由 Z-mapping 演算法在擴展為2.5-D。該網圖即本系統所得之各施工機具的最佳路徑 (collision-free paths)。

2.3 系統之建立

機具動線規劃之電腦模型建立的後期開使，即可進行系統程式的撰寫。預期使用 Visual C++ Version 5.0 為系統開發語言，視窗環境為系統測試平台。其中對於 GPS 系統之輸入及輸出，需有通盤之了解，以正確接收數據，並設計出親和力高的使用者界面。本系統預計將提供一套 3-D 繪圖的界面，並整合 GPS 定位技術以對施工機具作即時的動線規畫與管控。

系統軟體原型完成後，先根據施工步驟研擬系統架設計畫，經預先簡易測試後，才進行完整系統之架設與實地操作使用。系統之架設主要為 GPS

儀器的整合，包括 GPS 接收器、無線數據機、GPS 天線以及相關支援硬體。圖 6 顯示本系統 GPS 架設的實例。礙於精確之 GPS 取得不易，本研究先集中在理論之推導與 GPS 系統之架構研擬，俟 GPS 儀器取得後，即可馬上應用。

系統測試後，設計問卷供該工地包括專案經理與工地主任在內的各級工程人員填寫，以徵詢使用結果並初步評估其效益，亦邀請相關專家進行使用評估，綜合兩者結果，即可初步認定本系統的可行性與實用價值。

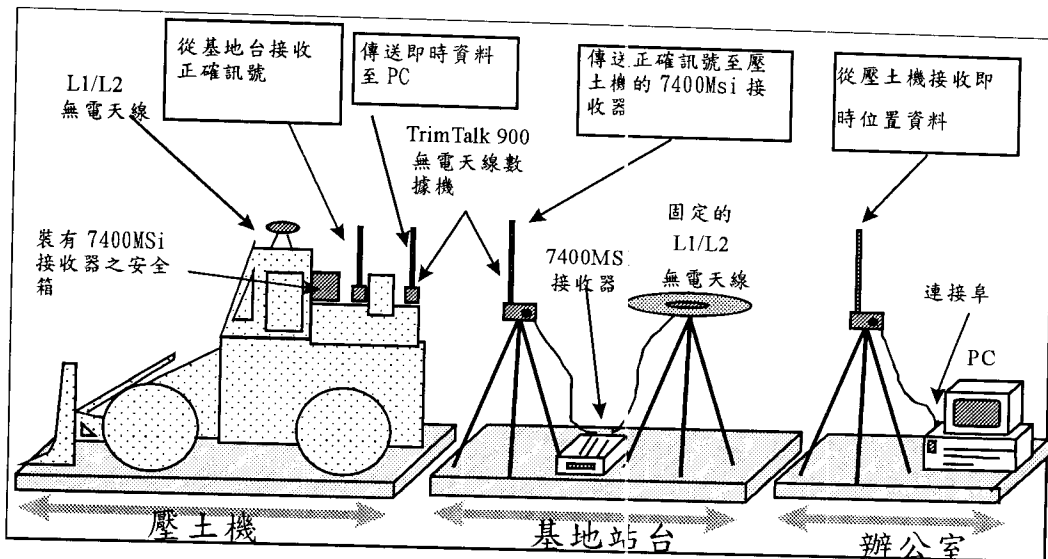


圖 6 GPS 系統架設實例

3. 計劃成果自評:

在學術研究之貢獻，利用本研究所建立之資訊系統架構試圖建構一個營建施工機具自動化之系統，以作為提昇施工生產力的依據，在工程應用方面，研究成果將可提供省時又安全之施工作業環境。

4. 參考文獻

1. 「施工技術及機具自動化現況調查及分析研究」，內政部建築研究所(1992)
2. 「建設機械之施工法」，日本建設機械化協會(1966)
3. 「土木機械之規畫與施工」，徐氏基金會(1969)
4. Tserng, H. P., Veeramani, D., Kunigahalli, R. and Russell, J. S., (1996). "OPSALC: A Computer-Integrated Operations Planning System for an Autonomous Landfill Compaction," *International Journal of Automation in Construction*, Vol. 5, pp. 39-50.
5. Daniel W. Halpin, Leland S. Riggs (1992), "Planning and Analysis of Construction Operation"
6. Samet, Hanan, and Webber, Robert, E. (1988). "Hierarchical Data Structures and Algorithms for Computer Graphics," *CG&A*, May 1988, pp. 59-75.
7. Lozano-Perez, Tomas, Wesley, A, Michael, (1979). "An Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among Polyhedral Obstacles," *Communications of the ACM*, Vol. 22, No.10., pp. 560-570.
8. Eernold, E. Leonhard, (1993). "Motion and Path Control for Robotic Excavation," *Journal of Aerospace*, Vol. 6, No. 616, pp. 1-18.
9. Trimble Navigation, Inc., (1994). "Trimble GPS Total Station Survey Systems," Trimble Navigation, Inc., Sunnyvale, CA.
10. Lozano-Perez, Tomas, (1983). "Spatial Planning: A Configuration Space Approach," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-32, NO. 2, pp.108-119.
11. Hornaday, W. C., Hass, C. T., O'Connor, J. T., and Wen, J., (1993). "Computer-Aided Planning for Heavy Lifts," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 119, No. 3, pp. 498-515.